



UFOP

Universidade Federal
Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



PEDRO AURÉLIO VIEIRA BAMBERG

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO ATRAVÉS DO USO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

OURO PRETO

Dezembro 2025

Pedro Aurélio Vieira Bamberg

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DAS QUEIMADAS NO QUADRILÁTERO
FERRÍFERO ATRAVÉS DO USO DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Augusta Gonçalves Fujaco

OURO PRETO

Dezembro 2025

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B199a Bamberg, Pedro Aurelio Vieira.

Análise espaço-temporal das queimadas no Quadrilátero Ferrífero através do uso de sensoriamento remoto. [manuscrito] / Pedro Aurelio Vieira Bamberg. - 2024.

53 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Augusta Gonçalves Fujaco.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Sensoriamento remoto. 2. Incêndios. 3. Biomassa. 4. Satélites. 5. Quadrilátero Ferrífero (MG). I. Fujaco, Maria Augusta Gonçalves. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 528.8

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Aurélio Vieira Bamberg

Análise espaço-temporal das queimadas no Quadrilátero Ferrífero através do uso do Sensoriamento Remoto

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo

Aprovada em 10 de fevereiro de 2026

Membros da banca

[Dra] - Maria Augusta Gonçalves Fujaco - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
[MSc] - Estefânia Fernandes dos Santos - Universidade Federal de Ouro Preto
[Geólogo] - José Luiz de Souza Louzada- MDGEO

Maria Augusta Gonçalves Fujaco, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Maria Augusta Gonçalves Fujaco, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/02/2026, às 17:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1060376** e o código CRC **515EBDB3**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e minhas irmãs que me deram todo o suporte e incentivo necessário para superar os desafios que surgiram em meu caminho, todo o amor e compreensão de cada um de vocês foram essenciais para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

À minha companheira, Ana Clara, por todo amor, carinho e amparo que serviram de alento para superar os momentos difíceis.

Agradeço a Universidade Federal de Ouro Preto e ao DEGEO pelo ensino de gratuito e de qualidade, além de todos os incentivos e ensinamentos obtidos ao longo do caminho da geologia. Um agradecimento a todos os professores, servidores e colegas que fizeram parte da minha jornada como estudante.

Aos colegas de Universidade e de curso, muito obrigado por tornar os dias mais alegres e divertidos.

À minha professora orientadora, Maria Augusta Gonçalves Fujaco, toda ajuda prestada e a grande paciência dispensada durante a confecção deste trabalho que foram cruciais para que o tornasse real.

Por fim todos que de qualquer cruzaram o meu caminho e de alguma forma ajudaram nessa trajetória, meu mais sincero obrigado!

*"Nesses tempos de céus de cinzas e chumbos, nós precisamos de arvores
desesperadamente verdes."*

(Mário Quintana)

RESUMO

O estudo investigou as transformações das queimadas no tempo e espaço no Quadrilátero Ferrífero de 2014 a 2024. Usou-se sensoriamento remoto, e dados de focos de calor do satélite AQUA M-T, obtidos pela plataforma BDQueimadas do INPE. A região do Quadrilátero Ferrífero é crucial ambiental e economicamente, situando-se entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica. Com 67 Unidades de Conservação ameaçadas por incêndios florestais, por vezes gerados por ações humanas, ligadas ao manejo do solo. A meta principal do trabalho foi contar e mapear focos de incêndio, comparando ocorrências dentro e fora das UCs, descobrindo áreas de fogo reincidentes. Os dados foram cuidadosamente tratados no QGIS, descartando focos múltiplos, utilizando ferramentas de dissolução e conversão de feições, evitando contar o mesmo evento repetidamente. De 4.073 focos iniciais, 3.399 foram confirmados, após remover 16,55% de dados repetidos. Nas Unidades de Conservação, o número de focos reduziu também, de 1.008 para 843. A análise temporal revela que aproximadamente 24,8% dos focos registraram-se nas Unidades de Conservação indicando que, infelizmente, essas áreas protegidas enfrentam vulnerabilidades. Os anos de 2014 e 2017 presenciaram mais ocorrências, ao passo que 2018 apresentou um cenário menor. Analisando as chuvas com médias de cinco estações, percebeu-se que anos mais secos coincidiram com mais queimadas, fortalecendo a relação clima-incêndios. Com o estimador de densidade, foram criados mapas de calor anuais. Os resultados apontaram Itabira, Nova Lima, Ouro Preto, Mariana e Brumadinho como zonas críticas, com elevada concentração de focos, sobretudo em UCs ou locais com múltiplos usos do solo. O estudo conclui que a metodologia, empregando softwares livres e dados abertos, demonstrou eficácia no monitoramento ambiental e gestão territorial. As informações são importantes para respaldar políticas de prevenção e combate a incêndios, principalmente com as mudanças climáticas em curso. A pesquisa enfatiza a importância de aprimorar os dados, investir em educação ambiental e gerenciar o fogo de maneira integrada, demonstrando que o sensoriamento remoto é uma ferramenta chave para preservar a biodiversidade e planejar o uso do solo de forma sustentável no Quadrilátero Ferrífero.

Palavras-chave: Incêndios, Unidades de Conservação, Sensoriamento Remoto, Satélites, Queimadas, Banco de Dados Geográficos, Análise Espaço-temporal, Quadrilátero Ferrífero.

ABSTRACT

The study investigated the spatiotemporal transformations of wildfires in the Quadrilátero Ferrífero between 2014 and 2024. Remote sensing techniques were applied using fire hotspot data from the AQUA M-T satellite, obtained through the INPE BDQueimadas platform. The Quadrilátero Ferrífero region is environmentally and economically crucial, as it lies at the transition between the Cerrado and Atlantic Forest biomes. It contains 67 Conservation Units threatened by wildfires, which are often associated with human activities related to land-use management. The main objective of the study was to count and map fire hotspots, comparing occurrences inside and outside Conservation Units and identifying areas with recurrent fire events. The data were carefully processed in QGIS by eliminating multiple detections using feature dissolution and conversion tools, thereby avoiding repeated counts of the same fire event. From an initial total of 4,073 hotspots, 3,399 were confirmed after removing 16.55% of duplicated records. Within Conservation Units, the number of hotspots was also reduced from 1,008 to 843. Temporal analysis revealed that approximately 24.8% of the recorded hotspots occurred within Conservation Units, indicating that these protected areas unfortunately face significant vulnerabilities. The years 2014 and 2017 recorded the highest number of fire occurrences, while 2018 showed a lower incidence. Rainfall analysis based on the averages of five meteorological stations indicated that drier years coincided with increased wildfire activity, reinforcing the relationship between climate conditions and fire occurrence. Annual heat maps were generated using a kernel density estimator. The results identified the municipalities of Itabira, Nova Lima, Ouro Preto, Mariana, and Brumadinho as critical zones with a high concentration of fire hotspots, especially within Conservation Units or areas characterized by multiple land-use practices. The study concludes that the methodology, employing open-source software and open-access data, proved effective for environmental monitoring and territorial management. The information generated is essential to support wildfire prevention and suppression policies, particularly in the context of ongoing climate change. The research emphasizes the importance of improving data quality, investing in environmental education, and adopting integrated fire management strategies, demonstrating that remote sensing is a key tool for preserving biodiversity and promoting sustainable land-use planning in the Quadrilátero Ferrífero.

Key-Words: Fires, Protected Areas, Remote Sensing, Satellites, Wildfires, Geographic Database, Spatiotemporal Analysis, Iron Quadrangle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização do Quadrilátero Ferrífero.	12
Figura 2 – Distribuição de focos de calor no QFe e UCs/Precipitação média por ano.	43
Figura 3 – Mapa da estimativa da densidade de Kernel dos focos de calor no QFe 2014-2019.	45
Figura 4 – Mapa da estimativa da densidade de Kernel dos focos de calor no QFe 2020-2024.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades de Conservação do Quadrilátero Ferrífero:	18
Tabela 2 - Números de focos de calor registrados no QFe antes e depois do tratamento dos dados e a porcentagem de redução após a exclusão das redundâncias em cada ano.....	41
Tabela 3 - Números de focos de calor registrados nas UCs do QFe antes e depois do tratamento dos dados e a porcentagem de redução após a exclusão das redundâncias em cada ano.....	42
Tabela 4 - Números de focos de calor registrados no QFe e nas Ucs após tratamento dos dados e a porcentagem entre os registros totais e dentro das Ucs representada em cada ano.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Apresentação	12
1.2	Problema.....	13
1.3	Objetivos	15
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	O Quadrilátero Ferrífero	16
2.2	Unidades De Conservação.....	17
2.3	Queimadas: Conceitos, causas e impactos.....	26
2.3.1	Incêndios subterrâneos	26
2.3.2	Incêndio de superfície	27
2.3.3	Incêndios de copas	27
2.4	Causas e Impactos.....	28
2.5	Sensoriamento Remoto: Fundamentos e Aplicações.....	29
2.5.1	Monitoramento De Focos De Incêndio No Brasil.....	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	Caracterização da área de estudo	33
3.2	Base de Dados e <i>Softwares</i>	34
3.2.1	Base de dados	34
3.2.2	<i>Softwares</i> Utilizados.....	34
3.3	Exclusão de focos múltiplos	35
3.4	Análise da exclusão de focos duplicados	36
3.5	Análise temporal dos focos de incêndio nos municípios do Quadrilátero Ferrífero.....	37
3.6	Análise temporal dos focos de incêndio nas unidades de conservação	

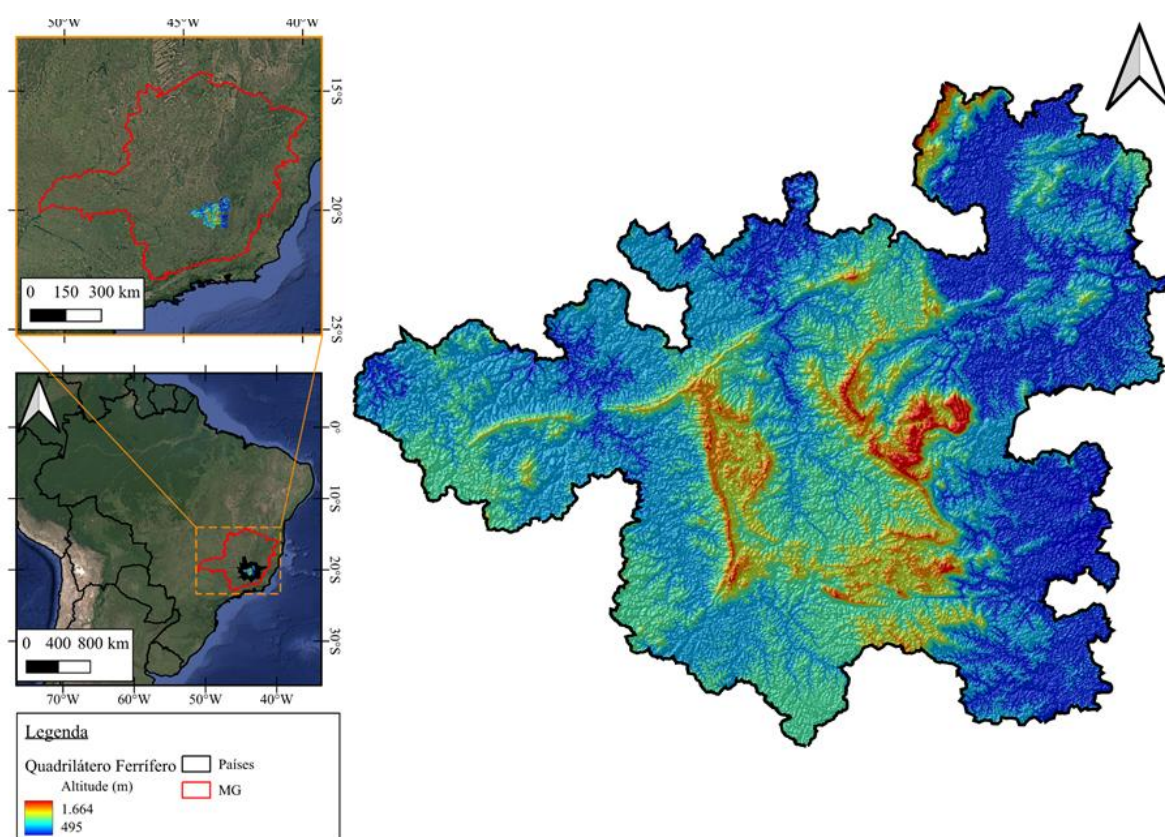
presentes no Quadrilátero Ferrífero.....	37
3.7 Análise espacial das áreas queimadas	38
3.8 Análise da pluviometria no Quadrilátero Ferrífero.....	38
3.9 Densidade Kernel.....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5 CONCLUSÕES	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O Quadrilátero Ferrífero (QFe) é uma região de notável importância econômica e ambiental, localizada no centro-sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil, detém uma área de aproximadamente 7.000 km². O QFe é conhecido por sua significativa geodiversidade, possuindo geologia, mineralogia e geodinâmica únicas no mundo, sendo uma considerável província mineral do planeta (Castro,2020).

Figura 1 – Mapa de Localização do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Além de sua relevância econômica, o QFe também possui grande importância na conservação ambiental, abrigando diversas unidades de conservação. Situado em uma área de transição de biomas, o QFe possui uma vegetação dividida entre dois biomas principais, o Cerrado e a Mata Atlântica, onde a porção representada pelo bioma da Mata Atlântica encontra-se altamente degradada, se apresentando em

fragmentos de vegetação. Já o bioma do Cerrado pode ser encontrado em áreas florestais de matas ciliares, matas de galerias, além de áreas abertas como campo limpo, campo sujo, e zonas intermediárias como cerradão e cerrado (Azevedo *et al.*, 2012). Sendo assim uma área fundamental para a manutenção da biodiversidade, regulação do clima da região em que se situa.

Os incêndios florestais podem ser descritos como qualquer incêndio que ocorra de maneira descontrolada e não planejada em florestas e outras formas de vegetação, sejam elas nativas ou cultivadas, em regiões rurais, e que, independentemente da origem da chama, necessite de uma intervenção (Brasil, 2024). Incêndios florestais são julgados catástrofes naturais, por acontecerem na Natureza e por sua possibilidade de manifestação e propagação dependerem principalmente dos fatores naturais, porém a ação antropológica exerce um papel importante para seu princípio, propagação e na limitação do seu desenvolvimento (Vasconcelos, 2013).

No ano de 2024, segundo dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram registrados no Brasil 278.279 focos de queimadas, sendo 75.304 em áreas de vegetação nativa, o que significa 27,1% de todos os eventos registrados. Atualmente o QFe hospeda o total de 67 Unidades de Conservação que variam entre as esferas administrativas: federal, estadual e municipal (MMA, 2025). Sendo assim é de grande importância quantificar e analisar o número de focos de incêndios ocorridos na região pertencente ao QFe para que seja possível uma visualizar os impactos e a dinâmica do fogo nesta região ao longo dos últimos anos.

1.2 Problema

O Cerrado no Brasil cobria originalmente uma área de aproximadamente 2 milhões de km², representando cerca de 25% do território brasileiro (Durigan e Ratter, 2016). Entretanto, estima-se que de toda cobertura original do Cerrado apenas 41% de sua área está conservada, totalizando um total de aproximadamente 833.000 km². Sendo então um dos tipos de vegetação mais ameaçados da América do Sul, tendo apenas 7% de sua cobertura sob proteção legal (Soares-Filho *et al.*, 2014).

O fogo é uma variável ocorrente dentro do bioma cerrado, fazendo com que as características específicas daquele biotipo se mantenham, sendo um aspecto

de grande importância ecológica no regime do ecossistema, dado a frequência e época em que se ocorrem (Costa; Rodrigues, 2015). Entretanto, o regime do fogo no Cerrado vem se alterando, ao decorrer dos anos, principalmente por meio de ações antrópicas que modificam a constância da queima, reduzindo o hiato de tempo em que as queimadas ocorrem na mesma área (Pivello, 2016). Tais alterações também podem ser oriundas de causas naturais, como em eventos extremos de seca em intervalos de tempo mais curtos, devido às mudanças climáticas (Silva, 2018).

É reconhecido que as queimadas provocam mudanças diretas ou indiretas nas propriedades físicas, químicas, morfológicas e biológicas do solo. Entre essas alterações, destacam-se variações no pH, nos níveis de nutrientes e carbono, na biodiversidade da micro, meso e macrofauna, além de impactos na temperatura, porosidade e densidade do solo (Capeche, 2012).

Mesmo que a vegetação do Cerrado possua adaptações ao fogo, as queimadas podem apresentar efeitos na estrutura e composição da vegetação. Desta forma, áreas onde ocorrem queimadas recorrentes apresentam uma redução gradual da diversidade, podendo ocorrer a simplificação da comunidade, tornando a sua fisionomia mais aberta (Hoffman e Moreira, 2002).

Além disso, já são conhecidos diversos impactos à saúde humana devido à poluição do ar devido às ocorrências de queimadas. Os gases liberados pelo processo de queima da matéria orgânica, como monóxido de carbono e dióxido nitroso, além de poluentes tóxicos como partículas finas podem agravar doenças cardíacas e causar inflamações, distúrbios nervosos, aterosclerose e até câncer (Ribeiro e Assunção, 2002). Os acréscimos do número de focos de incêndios não afetam somente a população em áreas diretamente ligadas aos focos, mas também podem afetar comunidades distantes com a inalação da fumaça devido o transporte pelo vento (Corrêa *et al.* 2020).

A falta de informações detalhadas sobre a dinâmica do fogo no Quadrilátero Ferrífero, dificulta a compreensão dos efeitos das queimadas sobre a vegetação, o solo e a biodiversidade local, tornando necessária a realização de uma análise das ocorrências que aborde a frequência e a distribuição de incêndios na região ao longo do tempo, para embasar estratégias de conservação e manejo sustentável desse ecossistema, considerando a sua crescente degradação e os riscos

associados às mudanças climáticas e ações antrópicas.

1.3 Objetivos

O presente trabalho visa investigar a recorrência e a dinâmica dos focos das queimadas no Quadrilátero Ferrífero no período entre os anos de 2014 a 2024, utilizando técnicas de sensoriamento remoto para que seja possível realizar o monitoramento e a compreensão dos padrões de ocorrência desses eventos. Para que esse propósito seja alcançado foram estabelecidos os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal, a análise do desenvolvimento das queimadas no QFe entre os anos de 2014 e 2024, com o propósito de identificar áreas de recorrência, através de técnicas de sensoriamento remoto, por meio da análise de dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar e quantificar o número de focos de incêndio que ocorreram no Quadrilátero Ferrífero ao longo dos anos de 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 2019, 2020, 2021, 2022 e 2024.
2. Comparar o número de ocorrências de queimadas dentro e fora das Unidades de Conservação presentes na região do QFe.
3. Buscar a identificação de áreas onde houveram recorrência de focos de queimadas durante o período de tempo determinado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Quadrilátero Ferrífero

Definido geomorfologicamente pelo alinhamento de um conjunto de serras em um formato que remete a forma geométrica de um quadrilátero, sua delimitação se dá por um agrupamento de cristas elevadas ao Norte denominado como Serra do Curral e Serra da Mutuca, a Oeste pela Serra da Moeda, a Sul pela Serra de Ouro Branco e a Leste é marcado por partes da Serra do Caraça e do Gandarela. (Bezerra, 2014).

A região em que está inserida o QFe possui sua história marcada por atividades relacionadas a extração de recursos minerais, desde o século XIV, em que as riquezas minerais presentes no estado de Minas Gerais, principalmente o ouro na região do QFe fomentaram a povoação e a partir da mineração nesta região (Azevedo *et al.*, 2012). Entretanto a compreensão geológica de forma mais detalhada da região, teve início com o Programa de Mapeamento Geológico executado pelo USGS e pelo DNPM, no período entre 1945 a 1962, onde foram produzidas mais de 40 quadrículas em escala 1:25.000, exibidos em uma série de publicações sintetizadas em escala 1:50.000 em 1969 por Dorr, com uma coluna estratigráfica apresentada na síntese final.

Na região sul do cráton São Francisco, o QFe possui seu embasamento formado por rochas granito-gnaissicas arqueanas e pelo greenstone belt Rio das Velhas caracterizado pelas rochas vulcano sedimentares do Grupo Nova Lima e por rochas de origem clásticas presentes no Grupo Maquiné (Dorr 1969; Noce *et al.* 1998). Essas unidades são cobertas de forma descontínua por rochas do Supergrupo Minas (Chemale *et al.* 1994; Alkmim & Marshak 1998). Os depósitos de ferro, historicamente explorados que nomeiam a região, estão associados à Formação Cauê, composta por formações ferríferas bandadas (BIFs) de baixo grau metamórfico (Dorr, 1969).

Para além das reservas minerais, o QFe é detentor da maior diversidade vegetal do mundo em ambientes caracterizados como savanas, principalmente ao se considerar espécies lenhosas (Mendonça *et al.*, 1998), o Cerrado hospeda aproximadamente 2.000 espécies arbóreas e 5.250 espécies herbáceas e subarbustivas se afirmando como um ecossistema muito rico e diversificado (Castro *et al.* 1999). Já o bioma da Mata Atlântica, apresenta estimativas de possuir,

aproximadamente, 2.300 de vertebrados e 20.000 espécies de plantas endêmicas, o que caracteriza, respectivamente, 32% e 40% do total das espécies citadas dentro do bioma (Mittermeier *et al.*, 2004; Fonseca *et al.*, 2004).

As chuvas que ocorrem na região são de suma importância para a contribuição de recurso hídrico para o Rio das Velhas, um afluente fundamental do alto São Francisco e do Rio Doce, tendo também grande relevância na utilização do abastecimento público da Região metropolitana de Belo Horizonte, provenientes da captação realizada no município de Nova Lima, atingindo valores de aproximadamente 6.600 l/s para o consumo humano, direcionando 70% deste valor para o abastecimento do município de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 2016).

2.2 Unidades De Conservação

A criação de um sistema de âmbito nacional que abrangesse os ecossistemas brasileiros de forma articulada, representativa e com a diferenciação de categorias de conservação, teve o seu planejamento iniciado apenas no final dos anos 1970, com influência principal da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). Com a criação de unidades de conservação até este período de forma ocasional e assistemática, a partir de situações e conjunturas políticas específicas (Santilli, 2005).

Atualmente, a legislação brasileira considera as unidades de conservação como um sistema, e não se considera individualmente cada unidade como uma porção distinta ou com objetivo em si mesma, mas como parte de um sistema de ordenamento territorial. Entretanto, apenas em 1988 foi proposta uma lei cujo propósito era instituir um Sistema Nacional de Unidades de Conservação, através da Fundação Pro-Natureza (Funatura) à pedido, do então vigente, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), proposta aprovada pelo Conama e encaminhada ao congresso em maio de 1992 e somente após um longo período de tramitação foi aprovada em julho de 2000, com o número 9.985 (Ricardo, 2004).

O projeto inicial distinguia as Unidades de conservação em três categorias: A primeira eram unidades de proteção integral, definidas por reserva biológica, estação ecológica, parque nacional, estadual e municipal, monumento natural e refúgio de vida silvestre; a segunda era a unidade de manejo provisório, incluindo reservas de recursos naturais e a terceira eram unidades de manejo sustentável, caracterizada

por reserva de fauna, área de proteção ambiental, floresta nacional, estadual e municipal e reserva extrativista (Santilli, 2005).

Desta forma, nos dias de hoje, as áreas naturais brasileiras são protegidas através das Unidades de Conservação, estratégia eficaz para gerir os recursos naturais em longo prazo. Como meio de alcançar esse objetivo de forma efetiva foi criado o Sistema Nacional de Conservação da Natureza (SNUC), através da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. A Lei do SNUC criou a possibilidade de se obter uma visão em conjunto das áreas naturais a serem preservadas e gerou grandes avanços na criação e gestão das UCs nas três esferas governamentais (federal, estadual e municipal) (Brasil, 2000).

Para se realizar o cadastro de uma nova UC no SNUC, o Órgão Gestor da unidade em questão deve acessar o site de Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), realizar o cadastro. Em seguida o Órgão gestor deve realizar a certificação dos passos efetuados na etapa anterior e enviar para aprovação. Após a certificação, o validador do CNUC no MMA verificará as informações cadastradas, e estas estando de acordo com o SNUC (Lei 9.985/2000), serão validadas pelo MMA e assim publicadas na plataforma CNUC.

Os dados dos registros das UCs estão disponibilizados através do Portal de Dados Abertos do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, onde está disponível arquivos em formato “.shp” e “.csv” com a lista das UCs ativas no CNUC com a respectiva categoria de manejo, área, esfera de governo, ano de criação e outras informações (MMA).

A Tabela 1 presente na seção de anexos, exhibe a compilação das UCs ativas no CNUC, atualizadas até março de 2025, contidas dentro do QF, listando: o nome da UC, ano de criação, se possui plano de manejo e conselho gestor, área, esfera administrativa, órgão gestor da UC, grupo de manejo e categoria de manejo da UC. A partir desta compilação, foi possível observar que a soma das áreas das Unidades de Conservação presentes no QFe atinge a marca de 5.540 km². Ao se comparar com o perímetro analisado, que possui uma extensão total de 13.866 km², a soma da área das UCs corresponde a aproximadamente 39,95% do perímetro analisado.

Tabela 1 - Unidades de Conservação do Quadrilátero Ferrífero:

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI	6/15/1967	Sim	Sim	70,00	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Parque
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DAS ANDORINHAS	12/30/1968	Sim	Sim	3,15	Municipal	SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG	Proteção Integral	Parque
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TRIPUÍ	4/25/1978	Sem informação	Sem informação	3,92	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Estação Ecológica
PARQUE NACIONAL DA SERRA DO CIPÓ	9/25/1984	Sim	Sim	338,00	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Proteção Integral	Parque
MONUMENTO NATURAL ESTADUAL SERRA DA PIEDADE	9/21/1989	Sim	Sim	19,47	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL CACHOEIRA DAS ANDORINHAS	10/17/1989	Sem informação	Sem informação	187,00	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MORRO DA PEDREIRA	1/26/1990	Sim	Sim	1.004,31	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL MONLEVADE	2/24/1993	Não	Sem informação	5,19	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL SANTUÁRIO CARAÇA	4/4/1994	Não	Sem informação	101,88	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL SUL-RMBH	6/8/1994	Não	Sim	1.652,60	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE FECHOS	9/28/1994	Sim	Sim	6,03	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Estação Ecológica
PARQUE ESTADUAL SERRA DO ROLA MOÇA	9/28/1994	Sim	Sim	39,41	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Parque
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL SÍTIO GRIMPAS	12/28/1995	Não	Sem informação	0,02	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL FAZENDA DO SINO	8/18/1997	Não	Sem informação	0,16	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL FAZENDA DOS CORDEIROS	10/15/1998	Não	Não	0,13	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO RIBEIRÃO SÃO JOSÉ	12/18/1998	Sem informação	Sim	0,54	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA - MG	Proteção Integral	Parque
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL MATA SAMUEL DE PAULA	10/18/2000	Não	Não	1,48	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
FLORESTA ESTADUAL SÃO JUDAS TADEU	8/7/2001	Sem informação	Sem informação	1,41	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Floresta

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL POÇO FUNDO	9/4/2001	Não	Sem informação	3,37	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL COMODATO RESERVA DE PETI	9/4/2001	Não	Sem informação	0,96	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL RIO PIRACICABA	6/6/2002	Não	Sim	71,76	Municipal	SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E AGRICULTURA DE RIO PIRACICABA - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL DOS FEIXOS	7/8/2002	Não	Sem informação	0,02	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO ITACURU	10/31/2002	Sem informação	Sim	310,05	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAMBÉ DO MATO DENTRO - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
RESERVA BIOLÓGICA MUNICIPAL DA MATA DO BISPO	8/4/2003	Sem informação	Sim	6,92	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA - MG	Proteção Integral	Reserva Biológica
FLORESTA ESTADUAL DO UAIMII	10/22/2003	Sim	Sem informação	43,98	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Floresta
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PIRACICABA	11/12/2004	Sem informação	Sim	388,24	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL SANTO ANTÔNIO	11/12/2004	Sim	Sim	629,74	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARQUE MUNICIPAL DA ESTÂNCIA ECOLÓGICA DO CRUZEIRO	12/20/2005	Sim	Sim	0,28	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE MARIANA - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO CERCADINHO	1/14/2006	Sim	Não	22,489,33	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Estação Ecológica
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL VARGEM DAS FLORES	6/27/2006	Sim	Sim	122,63	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO INTELECTO	8/10/2006	Sim	Sim	0,22	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA - MG	Proteção Integral	Parque
PARQUE ESTADUAL SERRA VERDE	12/12/2007	Sim	Sim	1,05	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Parque
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL ANGLOGOLD ASHANTI - CUIABÁ	12/13/2007	Sem informação	Sem informação	7,26	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO HORTO DOS CONTOS	10/1/2008	Não	Sim	0,06	Municipal	SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG	Proteção Integral	Parque
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO ALTO RIO DO TANQUE	10/17/2008	Sem informação	Sim	2,47	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITABIRA - MG	Proteção Integral	Parque
MONUMENTO NATURAL MUNICIPAL ARQUEOLÓGICO DO MORRO DA QUEIMADA	1/7/2009	Não	Sim	0,67	Municipal	SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
MONUMENTO NATURAL ESTADUAL DE ITATIAIA	9/22/2009	Sim	Sim	32,16	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
PARQUE ESTADUAL SERRA DO OURO BRANCO	9/22/2009	Sim	Sim	75,21	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Parque

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE ARÊDES	6/14/2010	Sim	Sim	11,58	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Estação Ecológica
MONUMENTO NATURAL ESTADUAL SERRA DO GAMBÁ	9/21/2010	Sem informação	Sem informação	4,42	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
MONUMENTO NATURAL ESTADUAL SERRA DA MOEDA	10/21/2010	Sem informação	Sem informação	23,73	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
PARQUE ESTADUAL DO LIMOEIRO	3/22/2011	Sim	Sim	20,57	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Parque
MONUMENTO NATURAL MUNICIPAL GRUTA NOSSA SENHORA DA LAPA	9/15/2011	Sim	Sim	0,20	Municipal	SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL VALE VERDE	1/5/2012	Não	Não	0,26	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DE CACHOEIRA DO CAMPO	4/2/2012	Não	Sim	0,00	Municipal	SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG	Proteção Integral	Parque
PARQUE NATURAL MUNICIPAL REGO DOS CARRAPATOS	7/6/2012	Sem informação	Sim	0,34	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE NOVA LIMA - MG	Proteção Integral	Parque
MONUMENTO NATURAL MUNICIPAL MORRO DO PIRES	6/5/2013	Sem informação	Sim	1,10	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE NOVA LIMA - MG	Proteção Integral	Monumento Natural

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
MONUMENTO NATURAL MUNICIPAL MORRO DO ELEFANTE	6/5/2013	Sem informação	Sim	0,44	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE NOVA LIMA - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
MONUMENTO NATURAL MUNICIPAL SERRA DO SOUZA	6/5/2013	Sem informação	Sim	2,00	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE NOVA LIMA - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE ESTADUAL DE MACAÚBAS	9/23/2013	Não	Sim	228.186,46	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Proteção Integral	Refúgio de Vida Silvestre
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL ALBERT SCHARLE	2/26/2014	Sem informação	Sem informação	0,94	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL CÔRREGO DA MATA	7/17/2014	Sim	Sim	198,66	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA DO ITABIRA - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL INHOTIM	7/29/2014	Não	Não	2,49	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
PARQUE NATURAL MUNICIPAL FELISBERTO NEVES	10/11/2014	Sem informação	Sim	0,30	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE BETIM - MG	Proteção Integral	Parque
PARQUE NACIONAL DA SERRA DO GANDARELA	10/14/2014	Sem informação	Sim	312,84	Federal	INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE	Proteção Integral	Parque
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DA CACHOEIRA DE SANTO ANTÔNIO	3/16/2015	Sem informação	Sim	0,86	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE CONGONHAS - MG	Proteção Integral	Parque
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DE FECHOS	4/8/2015	Sem informação	Sim	0,19	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE NOVA LIMA - MG	Proteção Integral	Parque

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL Córrego do Sítio I	9/17/2016	Sem informação	Sem informação	1,80	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL PARQUE FERNÃO DIAS	12/21/2016	Sem informação	Sim	0,98	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental
MONUMENTO NATURAL SERRA DA CALÇADA	12/29/2020	Sem informação	Sim	5,85	Municipal	SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE NOVA LIMA - MG	Proteção Integral	Monumento Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL RESERVA DA SERRA DA PIEDADE	6/1/2021	Não	Não	7.180,23	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL RESERVA MONSENHOR DOMINGOS EVANGELISTA	6/1/2021	Não	Não	5.899,99	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL GIRASSOL	2/1/2022	Não	Não	0,60	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL HORTO ALEGRIA III	5/20/2022	Não	Não	0,84	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL HORTO ALEGRIA II	8/27/2022	Não	Não	1,42	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural
PARQUE NATURAL MUNICIPAL CACHOEIRA DE SARZEDO	1/2/2024	Não	Não	132,05	Municipal	PREFEITURA MUNICIPAL DE SARZEDO - MG	Proteção Integral	Parque

Nome da UC	Ano de Criação	Plano de Manejo	Conselho Gestor	Área (Km ²)	Esfera Administrativa	Órgão gestor	Grupo de Manejo	Categoria de Manejo
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL Córrego do Sítio II	9/6/2024	Não	Não	3,28	Estadual	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS - MG	Uso Sustentável	Reserva Particular do Patrimônio Natural

Fonte: Produzido pelo autor.

2.3 Queimadas: Conceitos, causas e impactos

Focos de incêndios são um problema recorrente no Brasil, causando danos a extensas áreas do território todos os anos, gerando prejuízos não apenas para a biodiversidade e vegetação nativa, mas também áreas de agropecuária e recursos hídricos presentes na região (Pivello *et al.*, 2021). Incêndio florestal é caracterizado como um fogo que se propaga de forma descontrolada que se alastra através da queima da biomassa disponível em ecossistemas florestais. Entretanto, é comum que este termo seja empregado de forma genérica para designar o fogo em outros tipos de formações vegetais como capoeiras, campos e pradarias (Soares; Batista, 2007).

Dessa forma, a classificação mais apropriada para os incêndios florestais é baseada em quais estratos de combustível disponível são consumidos pela queima, desde o solo mineral até a copa das árvores presentes no local (Ribeiro, 2002). A partir disso, os incêndios podem ser classificados como subterrâneos, superficiais ou de copa.

2.3.1 Incêndios subterrâneos

Incêndios subterrâneos são caracterizados através do fogo que consome materiais abaixo da superfície do solo, em virtude do acúmulo de turfas, húmus ou matéria orgânica em certos tipos de vegetações. Locais com regimes alagadiços, como brejos os ambientes pantanosos, favorecem a concentração de matéria orgânica, levando assim à formação de espessas camadas, intituladas como turfas, com características inflamáveis que podem vir a impulsionar incêndios subterrâneos (Soares; Batista, 2007). Eventualmente um incêndio subterrâneo pode evoluir para um incêndio superficial, porém um incêndio superficial, em que o oxigênio se encontra em quantidade reduzida, pode vir a se tornar um incêndio de subsuperfície (Ribeiro,

2002), caracterizado por pouca fumaça, ausência de chamas e disseminação lenta, se torna de difícil descoberta, efetuando prejuízos à fauna de solo e as raízes, e como resultado a morte da vegetação atingida (Soares; Batista, 2007). Este tipo de incêndio se propaga com elevada temperatura e poucos indícios de sua disseminação, tornando o seu combate desafiador, o que cria muitas vezes condições que permitem o incêndio em subsuperfície avançar para um incêndio superficial.

2.3.2 Incêndio de superfície

Soares e Batista (2002) titulam de incêndios superficiais, aqueles que acontecem na superfície do piso florestal, arrasando a vegetação e os demais elementos depositados sobre o solo em forma de serrapilheira, considerando todos elementos consumidos pelo fogo até 1m 80cm de altura.

O material encontrado até 1,80 metros de altura, geralmente é composto por elementos finos e de alta inflamabilidade (Ribeiro, 2002). E, ao ser combinado com fatores como a intensidade dos ventos e topografia do terreno, podem gerar condições propícias para a disseminação dos incêndios de superfície. Este tipo de incêndio é definido por uma alta quantidade de chamas, propagação rápida e intensa liberação de calor, mas ainda assim, geralmente são passíveis de controle e extinção através de métodos de combate apropriados (Schumacker; Dick, 2018).

Schumacher e Dick (2018), apontam que incêndios desse tipo são os mais frequentes, com ocorrências em todas as regiões em que se tem a presença de vegetação. Esta é também a forma pela qual se inicia a maior parte dos incêndios, tendo em vista que, a depender das condições (como intensidade do fogo, tipo de vegetação, material combustível e condições atmosféricas), os incêndios superficiais podem resultar tanto em incêndios de copa quanto em incêndios subterrâneos

2.3.3 Incêndios de copas

É definido como incêndio de copa aquele em que o material combustível está localizado acima de 1,80 metros do solo. Com raras exceções, como a incidência de raios, os incêndios de copa são originados sempre através da evolução de um incêndio superficial. Caracterizado pela queima de toda a folhagem, e na maioria dos casos, a mortalidade das árvores atingidas (Soares; Batista, 2007).

A propagação desse tipo de incêndio é rápida e libera uma grande quantidade de calos, e ocorrem sempre acompanhados por um incêndio de superfície. Isso ocorre devido à disseminação de fagulhas que, ao atingirem a matéria orgânica presente no solo da região atingida, dão início a queima gradual e progressiva da vegetação rasteira e de outros combustíveis presentes na superfície do terreno (Schumacher; Dick, 2018).

Vale ressaltar que os três tipos de incêndios mencionados podem e ocorrem de forma concomitante ou através das diferentes associações possíveis, a depender do contexto em que o foco de incêndio está inserido (Soares; Batista, 2007).

2.4 Causas e Impactos

O uso do fogo como prática de manejo do solo no Brasil ocorre desde a agricultura nômade dos povos originários, sendo adotada pelos colonizadores, e acompanhando até os dias no exercício de pequenos a grandes proprietários de terra, devido a facilidade e ao custo reduzido para realizar a limpeza do solo (Mendonça; Souza, 2001). Entretanto, a queima da vegetação causa danos difíceis de serem calculados, podendo trazer danos irreversíveis às áreas atingidas, Victorino (2000), diz que o solo queimado é o início de um deserto.

No Brasil, a lei Nº 14.944, de 31 de julho de 2024, reconhece o fogo como ferramenta de manejo, desde que usado de forma controlada e segura, estabelecendo como legal o uso sob condições controladas, com objetivo agropecuário ou florestal, realizado com autorização prévia de órgãos ambientais; para fim técnico-científico, em pesquisas, capacitações ou como forma de manutenção da biodiversidade; e por comunidades tradicionais, sem a necessidade de aviso prévio. A lei também estabelece responsabilidade civil, penal e administrativa em caso de infrações ou usos indevidos, conforme descrito nas leis de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), da Política nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

No Cerrado, assim como em outros biomas savânicos ao redor do mundo, as espécies que habitam sua extensão evoluíram com o fogo (Simon *et al.* 2009). Embora as espécies presentes nesse bioma apresentem capacidade de rebrota após uma queimada, esta capacidade pode ser limitada a depender do regime de fogo ao qual

ela é exposta. A recorrência anual de incêndios em uma determinada área pode diminuir a altura e o diâmetro da rebrota presentes dos indivíduos, aumentando assim a taxa de mortalidade das espécies (Medeiros & Miranda 2004; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006). Ainda assim, certas espécies, podem ser estimuladas a produzirem sementes com a presença periódica do fogo, além dessa presença favorecer a dominância de espécies subarborescentes e herbáceas dentro do bioma, acarretando na modificação da estrutura da vegetação (Moreira 2000, Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger 2006, Sarmiento 1992).

Outro fator que deve ser levado em consideração é a o período em que acontecem as queimadas. As queimadas naturais tendem a acontecer durante o período chuvoso em decorrência de raios que atingem o local, causando a queima de áreas menores do que as queimadas antrópicas que utilizam da baixa umidade, o que em muitas vezes acabam atingindo grandes extensões territoriais (Ramos Neto & Pivello 2000).

Além dos danos às riquezas naturais, as queimadas também oferecem um grande risco à saúde humana. Em 2022 a Organização Mundial da Saúde (OMS) apontou entre os muitos malefícios causados pelas queimadas, que o material particulado (MP2.5/MP10), Monóxido de carbono (CO), Dióxido de nitrogênio (NO₂), fumaça (FMC), ozônio (O₃), Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs) (benzopireno – BaP) e dióxido de enxofre (SO₂) são os principais poluentes nocivos, oriundo de incêndios, configurando as queimadas como um fator de risco que pode desencadear doenças respiratórias, cardiovasculares e, conseqüentemente, piora nas condições de saúde (Ministério da Saúde. 2021; OMS. 2018).

2.5 Sensoriamento Remoto: Fundamentos e Aplicações

O sensoriamento remoto pode ser definido como o conjunto de métodos e processos tecnológicos, que tem como intuito a obtenção de atributos físicos de uma área sem visitação do local, permitindo ao usuário o estudo de diferentes características da extensão terrestre do planeta. Sendo possível realizar a classifica o, através de imagens, da cobertura do solo entre outras análises (Cordovil *et al.* 2024).

A história do sensoriamento remoto se inicia em 1859 próximo a Paris, com a

realização de uma fotografia a bordo de um balão, realizada por Gaspard Tournachon (VIDALIS-KELAGIANNIS *et al.* 2021). Com o passar dos anos e a grande evolução tecnológica, procedente principalmente com o decorrer da Segunda Guerra mundial, houve significativas descobertas, as quais possibilitaram a realização de novas aquisições de imagens, as quais abrangem da faixa do ótico do espectro eletromagnético (EEM) (visível, infravermelho e termal), e paralelamente foi desenvolvido o imageamento por Radar (Radio Detection and Ranging) (Negri; Mendes, 2020), o qual abrange comprimento de onda (CO) maiores, na faixa de rádio (radares mais antigos) e de CO na faixa microondas, os radares mais modernos, com a tecnologia SAR (Syntetic Aperture Radar). Estas imagens tiveram um papel fundamental no ponto de vista tático-militar, entretanto, após o término da guerra, diversos países notaram um grande potencial para o uso desses recursos com fins científicos (Aggarwal, 2003).

Com o início da guerra fria, e conseqüentemente a corrida espacial, o sensoriamento remoto alcançou novos patamares principalmente após o lançamento do “Sputnik 1”, o primeiro satélite artificial lançado no ano de 1957, iniciando um novo campo de pesquisa, totalmente novo a ser explorado (Cordovil, *et al.* 2024). Em meados de 1960 começaram a surgir os primeiros satélites voltados com objetivo da observação terrestre, como o Earth Resources Technology Satellite (ERTS), que mais tarde teve seu nome alterado para “Landsat 1”, lançado em 23 de julho de 1972, foi o primeiro satélite com o objetivo de coletar dados de sensoriamento remoto propriamente ditos (Cracknell; Varotsos, 2021). Após o triunfo do lançamento do Landsat 1, ocorreram subseqüentes lançamentos de satélites da família Landsat, capazes de fornecer diferentes tipos de imagens, através da combinação das bandas espectrais capturadas por seus sensores. Bandas espectrais nada mais são do que a classificação de comprimentos de ondas em grupos, como por exemplo a luz visível, o infravermelho próximo, o infravermelho térmico e o ultravioleta, essas zonas são separadas a partir da sua frequência ou comprimento de onda (Cordovil, *et al.* 2024). Os sensores, podem ser classificados de acordo com a fonte de energia usada, os sensores passivos (ex: Landsat), podem gerar imagens multiespectrais e hiperespectrais, diferenciadas pelo número de bandas e pela sua largura. Imagens hiperespectrais (ex: EnMap, PRISMA) possuem centenas de bandas estreitas, enquanto as imagens multiespectrais (ex: Landsat e Sentinel-2) são formadas entre 4

a 10 bandas mais extensas (GISGeography, 2024).

Hoje em dia existem uma enorme quantidade de empresas espaciais que buscam desenvolver e lançar seus próprios satélites, abrindo ainda mais o leque de possibilidades e recursos para o Sensoriamento Remoto. Avanços em técnicas de processamento, análise de dados, tal como a capacidade de obtenção de imagens de alta resolução e novos tipos de imageamento foram essenciais para permitir o alcance de detalhamento da superfície do Planeta Terra que possuímos atualmente, possibilitando também aplicações em outros campos de pesquisa, como previsões meteorológicas, prevenção de catástrofes naturais, monitoramento, na agricultura de precisão, além do uso para o planejamento urbano e ambiental. (Hemati *et al.* 2021).

2.5.1 Monitoramento De Focos De Incêndio No Brasil

Para a realização do monitoramento dos focos de incêndio, alguns elementos devem ser levados em consideração, tais quais como: os tipos de sensores utilizados na detecção, a resolução espacial da imagem e a resolução temporal das imagens geradas. No Brasil, os focos de calor são detectados através de imagens provenientes de uma série de satélites que operam em uma faixa termal média de 4 μm e são processados pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA. A obtenção desses dados é realizada através dos sensores AVHRR/3 (Advanced Very-High-Resolution Radiometer), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Os dados são acumulados por ano, obtidos através dos satélites polares NOAA-18, NOAA-19 e METOP-B, NASA, TERRA e AQUA, NPP-Suomi e NOAA-20, e pelos geostacionários GOES-16 e MSG-3 (INPE).

O apontamento de um foco de calor sugere a existência de fogo dentro de um elemento de resolução espacial, o pixel, que entre os sensores utilizados pelo INPE, pode variar entre 375 m² até 5 km², onde dentro deste pixel, pode existir um ou vários pontos de queimadas distintas assinalados como um único foco (INPE, 2020).

Todos os dados de focos de calor ocorridos na extensão territorial do Brasil são disponibilizados gratuitamente pelo INPE através do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas), podendo ser realizado o download a partir de um cadastro na plataforma.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O QFe, é uma unidade geotectônica localizado no centro-sul do estado de Minas Gerais, ocupa uma área aproximada de 7000km², reconhecido como um terreno pré-cambriano com significativos recursos minerais, especialmente ouro e Ferro (Ruchkys, 2009). O presente estudo definiu o perímetro do QFe através do conjunto dos municípios que compõem a área, sendo eles: Barão de Cocais, Bela Vista de Minas, Belo Horizonte, Belo Vale, Betim, Brumadinho, Caeté, Catas Altas, Congonhas, Conselheiro Lafaiete, Ibirité, Igarapé, Itabira, Itabirito, Itatiaiuçu, Itaúna, Jeceaba, João Monlevade, Mariana, Mário Campos, Mateus Leme, Moeda, Nova Lima, Ouro Branco, Ouro Preto, Piranga, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Rio Manso, Rio Piracicaba, Sabará, Santa Bárbara, Santa Luzia, São Brás do Suaçuí, São Gonçalo do Rio Abaixo, São Joaquim das Bicas, Sarzedo. Pode ser resumido em seus limites políticos através dos vértices da cidade de Itabira a nordeste, Itaúna a Noroeste, Mariana a sudeste e Congonhas a sudoeste (Diniz *et al.* 2014).

Devido a este conjunto de serras a região do QFe dispõe de uma variação de cotas altimétricas de 600m nas porções mais rasas de seus vales até pontos que excedem a cota de 2000 metros em seus picos de maior altitude, gerando assim uma amplitude de 1400 metros, fator importante que concebe uma área de interação propícia para a formação de ventos, tornando a localidade singular do ponto de vista climatológico (Fernandes, 2022).

A região registra uma precipitação média anual de 1.491,4 mm (Nery, 2016) , com a distribuição de chuvas concentradas nas estações mais quente do ano, apresentando em 2017, um percentual de 53% da precipitação no verão e 28% na primavera, enquanto nos meses de inverno essa porcentagem atingiu apenas 3%, registrando chuvas com níveis inferiores a 50mm nos meses de maio a agosto (Fernandes, 2022).

O Quadrilátero Ferrífero está situado em uma área de transição entre dois domínios morfoclimáticos, do Cerrado e a Mata Atlântica. Desta forma acolhe uma variedade de fitofisionomias, como Cerrado *sensu stricto*, campo sujo, Floresta estacional Semidecidual, florestas ciliares e campos rupestres ferruginosos abrigados

nos topos das serras, em cotas altimétricas que variam entre 1200 e 1500 metros (Jacobi *et al.* 2008). O Cerrado é definido como o segundo maior bioma do país, com uma área de extensão menor apenas que a Floresta Amazônica (Ribeiro; Walter, 1998).

3.2 Base de Dados e Softwares

3.2.1 Base de dados

Para a realização do presente trabalho foram utilizados os dados de ocorrência de focos de incêndios provenientes dos projetos PRODES - Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite e do sistema DETER - Monitoramento diário da supressão e degradação de vegetação nativa. Os dados estão disponíveis para download através Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas) do portal TerraBrasilis, disponíveis através do endereço web "<https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#exportar-dados>", uma plataforma desenvolvida pelo INPE para organização, acesso e uso de dados geográficos produzidos pelos programas de monitoramento ambiental.

Com o fim de garantir a coerência e a confiabilidade dos resultados, foi decidido manter o uso do satélite AQUA_M-T ao longo de toda a análise do projeto para realizar a comparação do número de focos de queimadas nos anos definidos como intervalo de estudo. O satélite de referência Aqua sensor MODIS, possui uma combinação entre resolução espacial (1km) e resolução temporal de (1 a 2 dias) muito favorável para o monitoramento diário de extensas áreas e assim como a identificação da recorrência de queimadas em um determinado recorte territorial (INPE, 2021). Justificando assim a escolha do satélite para o desenvolvimento do presente estudo.

3.2.2 Softwares Utilizados

3.2.2.1 Quantum GIS (QGIS)

Desenvolvido em 2002, o QGIS surgiu como uma alternativa à interface GRASS GIS (Ellul, 2012). O software é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto, um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo, 2017) e seu desenvolvimento é sustentado principalmente através da colaboração

voluntária dos usuários. O aplicativo é caracterizado por executar funções avançadas quando integrado a outros pacotes livres como o PostGIS, GRASS, SAGA, MapServer e outros de código aberto (Bruno, 2017). Desta maneira, pela facilidade de acesso e pela grande quantidade de recursos disponíveis, foi escolhido para realizar o desenvolvimento do presente trabalho.

3.3 Exclusão de focos múltiplos

Durante o tratamento dos dados de focos de calor no software QGIS 3.40.10 Bratislava, foi evidenciado que em alguns casos certos conjuntos de focos de calor se tratavam de um mesmo incidente de queimada devido à proximidade entre eles e a mesma data registrada na coluna de atributos “DataHora”. Desta maneira, foi realizado um processamento a fim de excluir os registros de dados duplicados, e assim obter uma análise mais fidedigna do número real de focos de queimadas ocorridos na área de estudo durante o período analisado.

O procedimento de exclusão dos focos de calor duplicados, teve como base a metodologia utilizada por Santos (2015), com adaptações para se encaixar nas condições do presente trabalho, onde os arquivos brutos em formato “*shapefile*” obtidos através da plataforma BDQueimadas passaram por um tratamento para que o mesmo foco não fosse contabilizado mais de uma vez. Estes registros representam o ponto central da máxima resolução espacial do sensor a bordo do satélite AQUA MT, o que significa a representação de um centroide do pixel cujo a aresta possui 1km de extensão. Assim sendo, foi criada uma camada “buffer” retangular com valor de 500m a partir do centroide disponibilizado, buscando assim recriar o pixel de máxima resolução do sensor através de polígonos de 1km². Após este procedimento, foi realizado a transformação dos dados temporais presentes na coluna “DataHora” que incluíam a data e o horário em que o foco de calor foi registrado. No tratamento desses dados foi utilizada a ferramenta “Calculadora de Campo” utilizando fórmula “to_date (“DataHora”)” para a atualização do registro, transformando os dados que possuíam registro da data e horário, em um registro apenas com a data em que o foco foi documentado.

A partir disso foi utilizada a ferramenta de processamento vetorial nativa do QGIS “Dissolver”. Esta ferramenta é capaz de agrupar feições vetoriais que

compartilham um ou mais atributos. No caso de a camada de entrada ser um polígono, os limites comuns entre os polígonos são dissolvidos gerando uma nova feição a partir da união dos limites. Então os focos foram dissolvidos a partir da intersecção dos polígonos e do compartilhamento da mesma data de registro.

Após essa etapa, foi utilizada a ferramenta “*Multipart to Singlepart*” para converter as feições multipartidas em feições de parte únicas, buscando preparar os dados para a análise espacial das feições individuais dos registros de focos de incêndio, gerando uma base de dados que exclui a presença de focos múltiplos, ou seja, registros que ocorreram no mesmo dia, representados por um polígono com área de 1km², que se interseccionam. Este método busca representar uma queimada que atingiu uma região maior do que a máxima resolução espacial do satélite como um evento individual ao invés de eventos múltiplos.

Diante disso foi utilizado novamente a ferramenta “Calculadora de Campo” para criar um novo campo na tabela de atributos chamado de “Foco” com um valor unitário para cada polígono presente na camada, e em seguida os polígonos foram transformados em centroides para que não houvessem influência na contagem dos focos registrados.

Por fim foi empregado a ferramenta “Unir atributos pela localização (sumário)” para comparar as camadas definidas pelo perímetro dos municípios que compõem o QFe e das UCs presente na região. Foi selecionado como características as camadas que se interseccionam e o campo “Foco” como sumário a ser somado, gerando uma camada com um campo da soma dos focos presentes em cada um dos municípios e nas UCs que posteriormente foi exportado no formato de documento de planilha Excel para a análise dos dados.

3.4 Análise da exclusão de focos duplicados

Esta análise foi conduzida através da comparação entre o número de focos adquiridos nos arquivos brutos em formato “*shapefile*” através da plataforma BDQueimadas e os arquivos após passarem pelo tratamento de dados para que o mesmo foco não fosse contabilizado mais de uma vez.

3.5 Análise temporal dos focos de incêndio nos municípios do Quadrilátero Ferrífero.

A análise temporal foi conduzida no software QGIS 3.40.10 Bratislava, se aplicável], por meio da sobreposição da camada vetorial correspondente ao limite dos municípios que compõem o Quadrilátero Ferrífero (QFe) com os dados de focos de calor obtidos na plataforma BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Inicialmente, foram adquiridos os registros de todos os focos de incêndio detectados no estado de Minas Gerais pelo Satélite de Referência AQUA M-T, considerando a série temporal anual de 1º de janeiro a 31 de dezembro para cada ano analisado.

A extração dos focos de calor incidentes na área de estudo (QF) foi realizada por meio da metodologia explicada no capítulo 3.3 Exclusão de focos Múltiplos. A base cartográfica municipal utilizada foi a malha municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente ao ano de 2024.

3.6 Análise temporal dos focos de incêndio nas unidades de conservação presentes no Quadrilátero Ferrífero.

A análise temporal foi conduzida no software QGIS 3.40.10 Bratislava, mediante a sobreposição da camada vetorial correspondente aos limites das Unidades de Conservação (UCs), disponibilizados por meio do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), com os dados de focos de calor obtidos na plataforma BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os registros de focos de calor utilizados referem-se às detecções realizadas pelo Satélite de Referência AQUA M-T para o estado de Minas Gerais, abrangendo o período anual de 1º de janeiro a 31 de dezembro de cada ano analisado.

A extração dos focos de calor incidentes na área de estudo (QF) foi realizada por meio da metodologia explicada no capítulo 3.3 Exclusão de focos Múltiplos.

A base cartográfica das Unidades de Conservação utilizada corresponde às

“*shapefiles*” de UCs com registro ativo no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), com registro até agosto de 2025, com última atualização em 03 de setembro de 2025.

3.7 Análise espacial das áreas queimadas

A análise espacial foi conduzida no software QGIS 3.40.10 Bratislava, através dos dados obtidos nas análises anteriores, com os dados de focos de calor obtidos na plataforma BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os registros de focos de calor utilizados referem-se às detecções realizadas pelo Satélite de Referência AQUA M-T para o estado de Minas Gerais, abrangendo o período anual de 1º de janeiro a 31 de dezembro de cada ano analisado.

Para a obtenção da análise espacial dos focos de incêndio dentro do QFe, empregou-se a criação de um mapa de calor, utilizando como base o Estimador de Densidade de Kernel. Este método permite visualização espacial do número de ocorrências dentro do limite da área de estudo, para cada ano e também para o somatório do total da série histórica analisada. Os parâmetros utilizados na análise foram os fornecidos pela própria ferramenta no software.

3.8 Análise da pluviometria no Quadrilátero Ferrífero.

A análise referente a pluviometria no QFe foi feita com base na média dos dados obtidos através da plataforma HIDROWEB, onde foram selecionadas estações com séries históricas consistentes e contínuas dentro do recorte temporal do estudo. Em seguida, os totais mensais e anuais de precipitação foram organizados e tratados estatisticamente, aplicando-se a média aritmética para representar o comportamento pluviométrico médio da região como a metodologia empregada por Moreira (2022). As estações escolhidas se localizam nos municípios de Belo Horizonte, Congonhas, Itaúna, Mariana e São Gonçalo do Rio Abaixo. Sendo, respectivamente, as estações Caixa de Areia (código: 1943022), Congonhas – linigrafo (código: 2043013), Calambau (código: 2044020), Fazenda Paraíso (código: 2043011) e Usina Peti (código: 1943027). A escolha das estações teve como critério o fator de localização,

sendo 4 estações próximas aos vértices das cidades que compõem o QFe e uma estação no centro, além do fato de terem registros dos anos escolhidos para a análise.

3.9 Densidade Kernel

Após a identificação dos focos de calor, foi realizado o cálculo de suas densidades na área de estudo por meio do estimador de densidade de Kernel, utilizando a ferramenta “Interpolar – Mapa de calor (Estimativa de densidade de Kernel)” do *software* QGIS 3.40.10 Bratislava. Esse estimador gera uma superfície contínua que representa a intensidade espacial de um fenômeno pontual, delimitado por um raio de influência específico (no presente trabalho foi definido como 3 km). Os valores resultantes variam de 1, no centro do ponto, a 0 na extremidade do raio, o que permite reconhecer áreas com maior concentração de focos de calor e compreender a distribuição espacial desses eventos (Filho *et al.*, 2009).

A aplicação desse método teve como objetivo representar espacialmente os focos de calor, possibilitando uma análise mais detalhada sobre a concentração e a dinâmica das ocorrências de incêndios. Com base na densidade Kernel, foram elaborados mapas anuais para todo o período analisado, os quais foram classificados conforme gradações de cor: vermelho indica densidade muito alta; laranja, densidade alta; amarelo, densidade média; verde, densidade baixa; e branco, densidade muito baixa. Essa forma de representação cromática é amplamente utilizada na literatura, podendo ser observada, por exemplo, em Souza *et al.* (2013) e Barbosa (2017).

O cálculo da densidade Kernel é formalizado pela expressão apresentada por:

$$\hat{f}(s) = \frac{1}{nb^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{s - s_i}{b}\right)$$

Onde:

- n corresponde ao número total de observações;
- b é o parâmetro de suavização (largura de banda), definido pelo usuário;

- s representa um vetor de coordenadas do local onde a densidade está sendo estimada;
- s_i é o vetor de coordenadas de cada observação pontual;
- K refere-se à função Kernel, que determina a forma de distribuição da influência de cada ponto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o espaço de tempo analisado entre os anos de 2014 a 2024, antes de realizar o tratamento dos dados através do método de exclusão de focos múltiplos, o satélite AQUA-MT registrou o total de 4.073 eventos no perímetro do QFe. Posteriormente a aplicação da metodologia de exclusão de focos duplicados, houve uma redução de aproximadamente 16,55% do número previamente adquirido, totalizando 3.399 de ocorrências totais inventariadas.

A Tabela 2 exibe uma síntese do número de focos de calor registrados no Qfe ao longo dos anos antes e depois do tratamento dos dados, assim como o percentual de redução de cada ano.

Tabela 2 - Números de focos de calor registrados no QFe antes e depois do tratamento dos dados e a porcentagem de redução após a exclusão das redundâncias em cada ano.

Ano	Número total de focos registrados	Número de focos após o tratamento dos dados	Redução após o tratamento dos dados
2014	607	503	17,13%
2015	182	155	14,84%
2016	221	181	18,10%
2017	633	532	15,96%
2018	89	80	10,11%
2019	502	402	19,92%
2020	270	207	23,33%
2021	355	302	14,93%
2022	245	213	13,06%
2023	125	109	12,80%
2024	844	715	15,28%
Total	4.073	3.399	16,55%

Fonte: Produzido pelo autor.

Ao se analisar a diferença percentual de focos registrados dentro das Unidades de Conservação do após a metodologia aplicada é nítida a semelhança à redução obtida dos números totais. Antes do tratamento dos dados somavam-se 1008 registros de focos de calor dentro de UCs durante o período estudado, e após o emprego da metodologia utilizada esse número reduziu 16,37%, somando 843 ocorrências.

A Tabela 3 demonstra o número de focos de calor registrados dentro das Ucs do Qfe ao longo dos anos antes e depois do tratamento dos dados, assim como o percentual de redução de cada ano.

Tabela 3 - Números de focos de calor registrados nas UCs do QFe antes e depois do tratamento dos dados e a porcentagem de redução após a exclusão das redundâncias em cada ano.

Ano	Focos em Ucs antes do tratamento dos dados	Número de focos após o tratamento dos dados	Redução após o tratamento dos dados
2014	159	131	17,61%
2015	63	51	19,05%
2016	40	35	12,50%
2017	143	122	14,69%
2018	34	30	11,76%
2019	122	106	13,11%
2020	85	61	28,24%
2021	92	78	15,22%
2022	59	51	13,56%
2023	24	22	8,33%
2024	187	156	16,58%
Total	1.008	843	16,37%

Fonte: Produzido pelo autor.

A Tabela 4 compara o número total de ocorrências de focos de calor registradas no QFe ao longo de cada ano e o total de ocorrências registradas dentro das Ucs presentes no QFe, juntamente do percentual do número representado.

Tabela 4 - Números de focos de calor registrados no QFe e nas Ucs após tratamento dos dados e a porcentagem entre os registros totais e dentro das Ucs representada em cada ano.

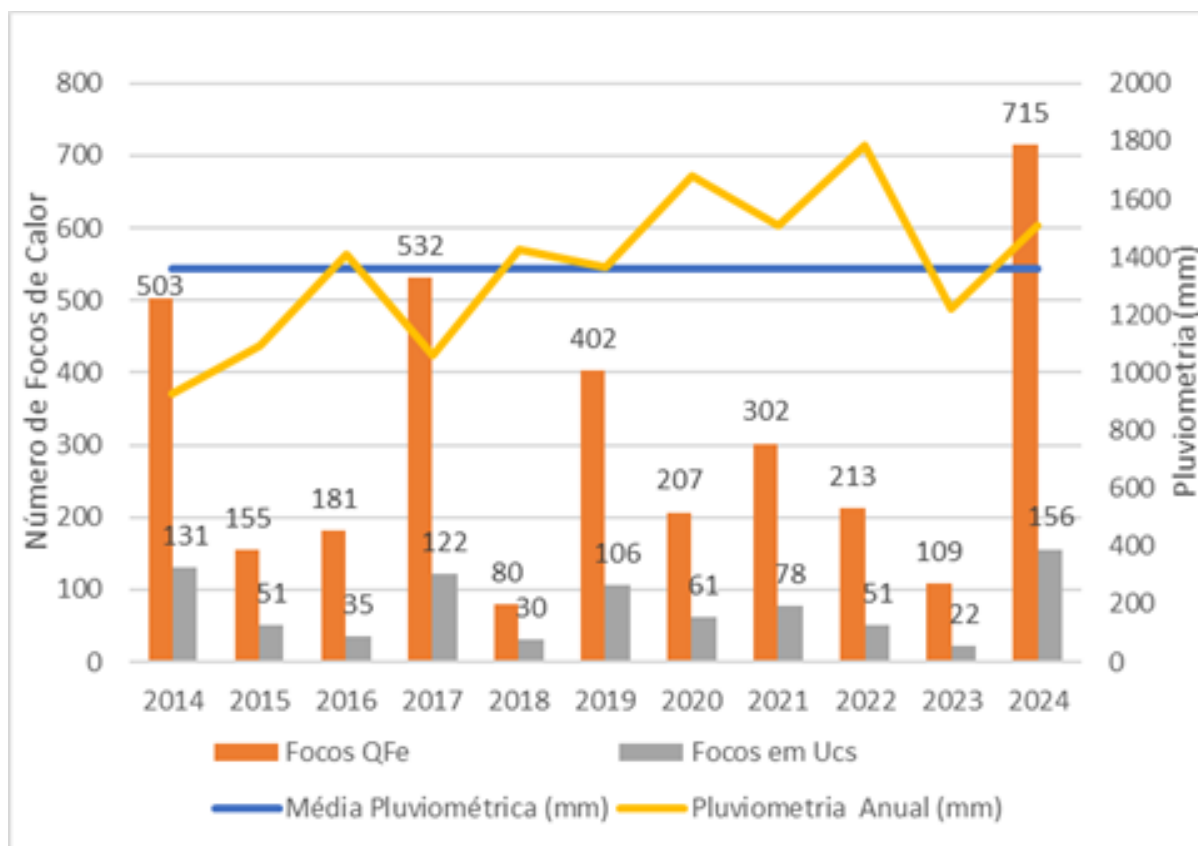
Ano	Focos QFe	Focos em UCs	% de Focos em UCs
2014	503	131	26,04%
2015	155	51	32,90%
2016	181	35	19,34%
2017	532	122	22,93%
2018	80	30	37,50%
2019	402	106	26,37%
2020	207	61	29,47%
2021	302	78	25,83%
2022	213	51	23,94%
2023	109	22	20,18%
2024	715	156	21,82%
Total	3.399	843	24,80%

Fonte: Produzido pelo autor.

A figura 2 exibe graficamente um resumo com todas as informações apresentadas, relacionando o número total de focos de calor registrados no perímetro do QFe, a quantidade de focos de calor registrados nos domínios das UCs presentes

no QFe e a pluviometria média e acumulada por ano, com o objetivo de sintetizar todas informações adquiridas em busca da relação e comparação dos dados obtidos.

Figura 2 – Distribuição de focos de calor no QFe e UCs/Precipitação média por ano.



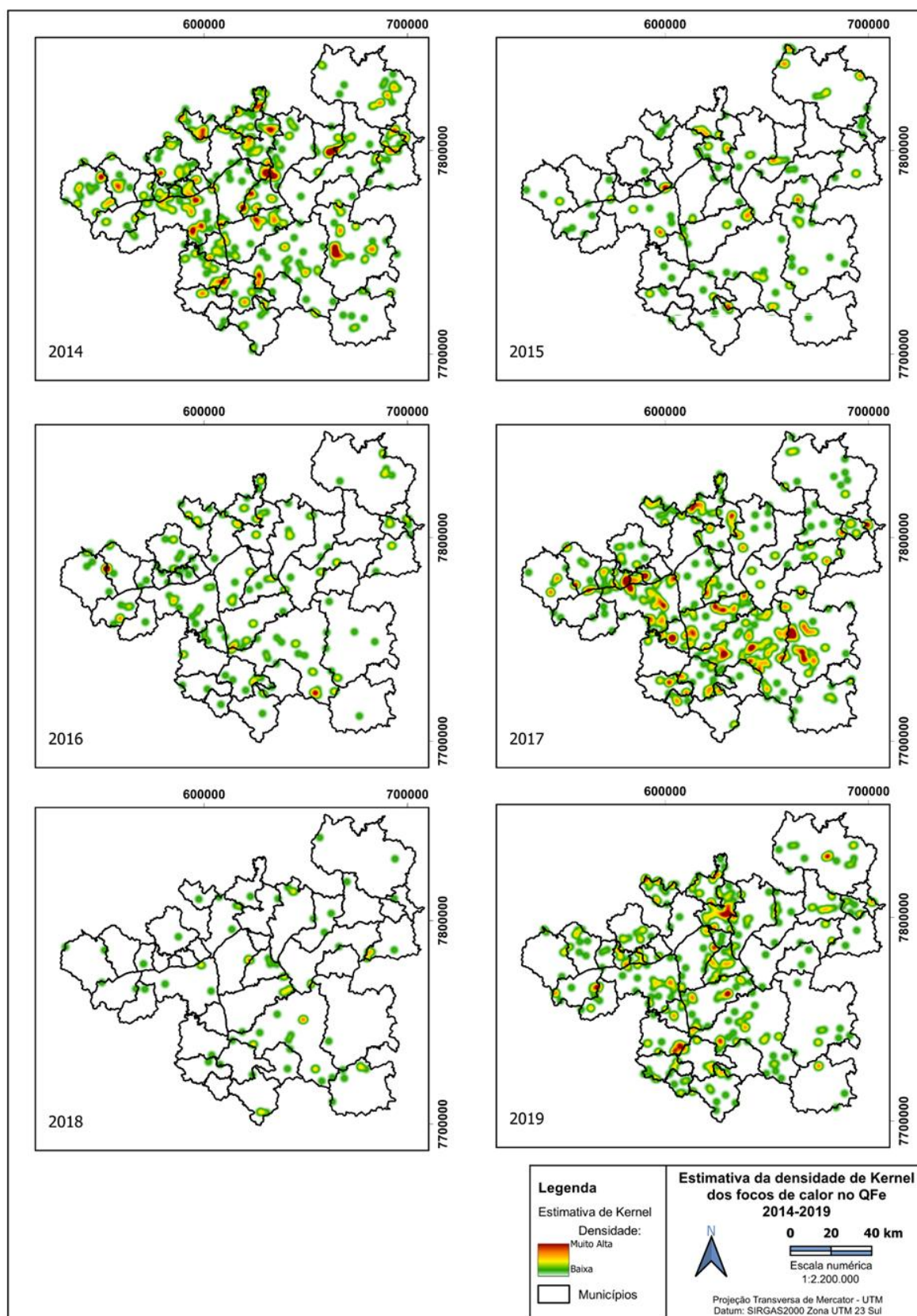
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os dois aspectos analisados, para a maioria dos casos, se mostram inversamente proporcional, ou seja, nos anos com maiores índices pluviométricos, menor foi a quantidade de focos de calor registrados, tanto de forma geral como dentro das UCs, tendo em vista que os padrões em ambas as dimensões se assemelham. A exceção é o ano de 2023, que apresentou a diminuição do número de focos de calor juntamente com a média pluviométrica. Entretanto este acontecimento pode ter relação com o fato de 2023 ser prescindido por três anos onde as chuvas estiveram acima da média do período analisado, dificultando as queimadas neste período e também induzindo o crescimento de biomassa vegetal, que após a queda nos índices pluviométricos em 2023, possivelmente se tornaram biomassa seca e acumulada, favorecendo a disseminação de queimadas como demonstra ano de 2024, sendo o ano com o maior número de registros da janela de tempo estudado.

A fim de obter uma melhor visualização espacial da distribuição das queimadas ocorridos no recorte temporal analisado, foi elaborado mapas com a estimativa da

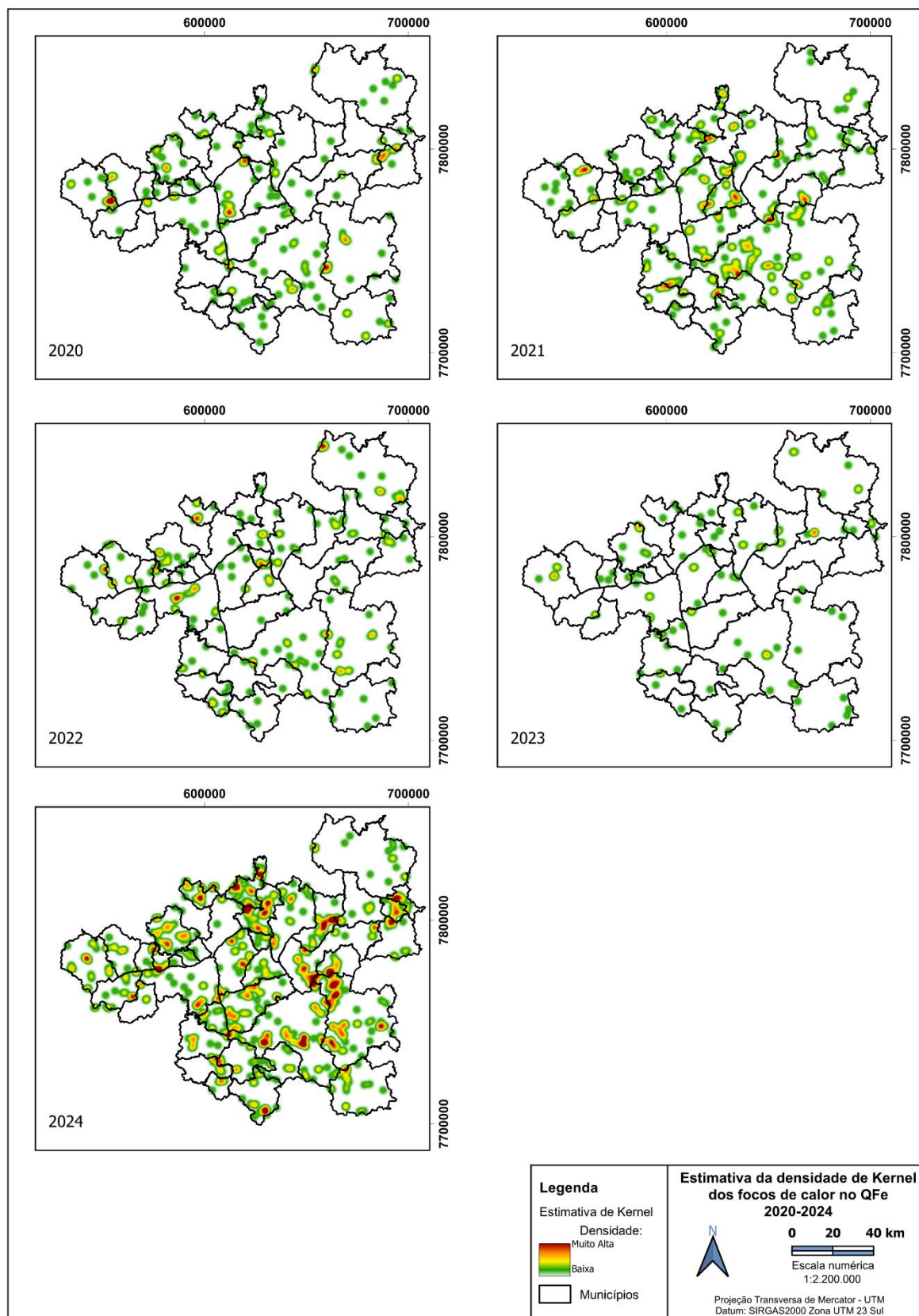
densidade de Kernel dos focos de calor em cada um dos anos analisados, conforme exposto a seguir.

Figura 3 – Mapa da estimativa da densidade de Kernel dos focos de calor no QFe 2014-2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 4 – Mapa da estimativa da densidade de Kernel dos focos de calor no QFe 2020-2024.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível constatar a possibilidade de aplicar a metodologia proposta Santos (2015) em um software gratuito como o QGIS, afirmando a eficiência operacional do aplicativo e a disseminação das possibilidades de estudos realizados por colaboradores em todo o mundo. Além disso, pode-se concluir que o método de exclusão de focos múltiplos se mostra eficiente, reduzindo em média 15,95% do total de focos de calor na análise em questão, mostrando uma redundância nos dados disponibilizados de maneira bruta através do BDQueimadas, evidenciando a necessidade do tratamento dos dados disponibilizados para uma análise real dos fatos ocorridos.

Também foi possível observar uma relação direta entre os índices pluviométricos e o número de focos de calor registrados através do uso do sensoriamento remoto, bem como a influência de períodos que se mantêm com a pluviometria mais elevada, reduzindo direta e indiretamente no número de focos de calor registrados ao longo dos anos.

Por fim o estudo em questão ajudou a visualizar as áreas do QFe mais suscetíveis às queimadas, se mostrando importante ao evidenciar a vulnerabilidade dos ecossistemas presentes na área de interesse diante da ocorrência dos incêndios e das mudanças climáticas ocorridas anualmente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKMIM F.F., MARSHAK S. **The Transamazonian orogeny in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil: Paleoproterozoic collision and collapse in the Southern São Francisco Craton region.** *Precambrian Res.*, 90: 29-58. 1998.

AZEVEDO, Ú. R DE *et al.* **Geoparque Quadrilátero Ferrífero (Mg): Proposta. Geoparque Quadrilátero Ferrífero (Mg) - Proposta,** [S. L.], 2012.

Aggarwal, S. Principles of remote sensing. **Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology**, v. 23, n. 2, p. 23–28, 2003.

BARBOSA, M. L. F. **Ocorrência de focos de calor sob diferentes classes de uso e ocupação do solo no estado do Amazonas durante a seca de 2005.** 2017. 35 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BELO HORIZONTE. **Plano municipal de saneamento de Belo Horizonte 2016/2019.** Belo Horizonte: PBH, v. I. 2016. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/plano-de-saneamento>>. Acesso em: ago. 2025

BEZERRA, D. P. **QUADRILÁTERO FERRÍFERO MG: fatores condicionantes do relevo.** 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-AD4MDH>. Acesso em 31/07/2025.

BRASIL. **Presidência da República. LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981.** Brasília, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: ago. 2025.

BRASIL. **Presidência da República. LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000.** Brasília, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 06 ago. 2025.

BRASIL. **Presidência da República. LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012.** Brasília, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: ago. 2025.

BRASIL. **Presidência da República. LEI Nº 14.944, DE 31 DE JULHO DE 2024.** Brasília, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14944.htm. Acesso em: jan. 2025.

CAPECHE, C. L. **Impactos Das queimadas na qualidade do solo - degradação ambiental e manejo e conservação do solo e água. Impactos das queimadas na qualidade do solo**

- **degradação ambiental e manejo e conservação do solo e água.**, [s. l.], 2012.

CASTRO, A. A. J. F.; MARTINS, F. R.; TAMASHIRO, J. Y.; SHEPHERD, G. J. **How rich is the flora of Brazilian Cerrados?** *Annals of the Missouri Botanical Garden*, [s.l.], v. 86, n. 2, p. 192-224, 1999

CASTRO, P. T. A.; GANDINI, A. L.; ENDO, I. **Quadrilátero Ferrífero: Avanços Do Conhecimento Nos Últimos 50 Anos.** Belo Horizonte, Mg: 3i Editora Ltda, 2020.

Cracknell, A. P.; Varotsos, C. A. **Remote Sensing Letters.** Editorial Sir John Houghton. v. 12, n. 4, p. 364–376, 3 abr. 2021.

CORDOVIL, K.; GONÇALVES, L.; MACHADO, W.; PERES, L.; BROU, Y.; CARVALHO, L. (2024). **Evolução E Aplicações Do Sensoriamento Remoto Em Estudos Ambientais: Uma Revisão De Literatura.** Disponível em: 10.22533/at.ed.2272424105. Acesso em: 31 jul. 2025.

CORRÊA, A. N. S.; JUNCAL, A. M. S.; CASTANHEIRO, B. M.; BORGES, D. S.; AMARAL, G. N.; SANTOS, G. S.; BESSA, N. G. F.; AMARAL, S. H. R. (2021) **Relação das queimadas e os casos de doenças respiratórias em crianças e idosos na época da seca no Tocantins.** *Revista de Patologia do Tocantins*, 8(1).

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. **The Need For A Consistent Fire Policy For Cerrado Conservation.** *Journal Of Applied Ecology*, [S. L.], V. 53, N. 1, P. 11–15, 2016.

DORR, J. V. N. **Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.** USGS Professional Paper, 641-A. 1969.

ELLUL, CLAIRE. (2012). **Can Free (and Open Source) Software and Data be Used to Underpin a Self-Paced Tutorial on Spatial Databases?.** *Transactions in GIS*. 16. 10.1111/j.1467-9671.2012.01321.x.

FERNANDES, A. S.; MOREIRA, A. A. M. **A Pluviometria do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais.** *Revista Brasileira De Climatologia*, [S. L.], V. 31, N. 18, P. 753–775, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v31i18.16218. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16218>. Acesso em: jul. 2025.

FILHO, E. B. S.; TELES, L. J. S.; SANTOS NETO, L. A.; **Ocorrência dos focos de calor no estado de Rondônia em 2007.** *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, v.21, n.01. p, 123-140, 2009.

FONSECA, G. A. B., A. B. RYLANDS, A. P. PAGLIA & R. A. MITTERMEIER. 2004. IN: R. A.,MITTERMEIER, P. R., GIL, M., HOFFMANN, J., PILGRIM, J., BROOKS, C. G., MITTERMEIER, J. LAMOURUX, & G. A. B., FONSEC (EDS.). **Hotspots Revisited: Earth's**

Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. pp. 84-88. Cemex. Washington, DC

GISGEOGRAPHY. **10 Pacotes de software de sensoriamento remoto de código aberto.** Disponível em: <<https://gisgeography.com/open-source-remote-sensing-software-packages/>>. Acesso em: ago. 2025.

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

GOTTSBERGER, G. & SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. **Life In The Cerrado: A South American Tropical Seasonal Vegetation.** Vol I. Reta Verlag, Ulm. 277p. 2006.

HEMATI, M. *et al.* **A Systematic Review Of Landsat Data For Change Detection Applications: 50 Years Of Monitoring The Earth.** Remote Sensing, V. 13, N. 15, P. 2869, 22 Jul. 2021.

HOFFMAN, W. A.; MOREIRA, A. G. **The Role Of Fire In Population Dynamics Of Woody Plants.** In: Oliveira, P.S.; Marquiz, R.J. (Eds.). The Cerrados Of Brazil: Ecology And Natural History Of Neotropical Savanna. New York: Columbia University Press, 2002. 398p.

INPE (Instituto nacional de Pesquisas Espaciais). **Banco de Dados de queimadas.** <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: ago. 2025

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Perguntas Frequentes. Programa de Monitoramento de Focos.** <<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html>>. Acesso em: Ago. 2025

MEDEIROS, M. B. MIRANDA. H. S. **Mortalidade Pós-Fogo Em Espécies Lenhosas De Campo Sujo Submetido A Três Queimadas Prescritas Anuais.** 2004 Disponível Em: <<https://www.scielo.br/J/Abb/A/Xssqv3yyzdl3pkd5tyynw9t/?Format=Pdf&Lang=Pt>>. Acesso em: Ago. 2025

MOREIRA, A.G. **Effects Of Fire Protection On Savanna Structure In Central Brazil.** Journal Of Biogeography 27:1021-1029. 2000.

NOCE C.M., MACHADO N., TEIXEIRA W. 1998. **U-Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism.** Rev. Bras. Geoc., 28:95-102.

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, 2016.

PIVELLO, V. R., VIEIRA, I., CHRISTIANINI, A. V., RIBEIRO, D. B., DA SILVA MENEZES, L.,

BERLINCK, C. N. & OVERBECK, G. E. **Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies.** Perspectives in Ecology and Conservation, 19(3), 233-255. 2021.

RAMOS NETO, M. B. E PIVELLO, V. R. **Lightning Fires In A Brazilian Savanas National Park: Rethinking Management Strategies.** Environmental Management, V. 26, N. 6, P. 675-684, 2000 tradução. Acesso em: Ago. 2025.

RIBEIRO, G. A. **Formação E Treinamento De Brigada De Incêndio Florestal.** Viçosa: Cpt, 182 P., 2002.

SANTILLI, J. **Livro Socioambientalismo E Novos Direitos: Proteção Jurídica À Diversidade Biológica E Cultural.** Editora Peirópolis, Instituto Socioambiental E Instituto Internacional De Educação Do Brasil, 2005. Disponível Em: <[Http://Portal.Iphan.Gov.Br/Uploads/Ckfinder/Arquivos/Santilli_juliana-Socioambientalismo-E-Novos-Direitos.Pdf](http://Portal.Iphan.Gov.Br/Uploads/Ckfinder/Arquivos/Santilli_juliana-Socioambientalismo-E-Novos-Direitos.Pdf)>. Acesso em: 2 Ago. 2025

SANTOS, S. C. DOS . **Distribuição e validação de focos de calor no estado do rio de janeiro no período de 2009-2014.** 2015. 32 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SARMIENTO, G. **Adaptive Strategies Of Perennial Grasses In South American Savannas.** Journal Of Vegetation Science 3: 325-336.1992.

SCHUMMACHER, M.V.; DICK, G. **Incêndios Florestais.** 3ªed. Revisada. Ufsm: Departamento De Ciências Florestais. Santa Maria - Rs. N.13, 153p. 2018. Disponível Em: <[Https://Cutt.Ly/Gwo69jq](https://Cutt.Ly/Gwo69jq)>. Acesso em: Jul. 2025.

SIMON, M.F.; GRETHER, R.; QUEIROZ, L.P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R.T. & HUGHES, C.E. 2009. **Recent assembly of the Cerrado, a Neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire.** Proceedings of the National Academy of Science USA, 106(48): 20359-20364.

SILVA, L.G. DA. **Comportamento E Efeito Do Fogo Sobre Os Ecossistemas Do Bioma Cerrado:Modelos Baseados Processos.** 2018. 112f. Tese (Doutorado), Universidade De Brasília, Brasília, 2018.

SOARES-FILHO, B., RAJÃO, R., MACEDO, M., CARNEIRO, A., COSTA, W., COE, M., RODRIGUES, H., ALENCAR, A., 2014. **Cracking Brazil 's Forest Code.** Science 344 (80).

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: Controle, Efeitos E Uso Do Fogo.** Curitiba, R. V. Soares E A. C. Batista Editores, 250p, 2007.

SOUZA, N., SILVA, E., TEIXEIRA, M. D., Leite, L. R., REIS, A., SOUZA, L., ... & REZENDE,

T. Aplicação do Estimador de densidade Kernel em unidades de conservação na 19 bacia do Rio São Francisco para análise de focos de desmatamento e focos de calor. Anais. XVI simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Foz do Iguaçu, PR, 2013.

VASCONCELOS, A. F. C. G. N. DE. **Avaliação Da Suscetibilidade À Ocorrência De Incêndios Florestais.** 2013. Dissertação (Mestrado Em Sistemas De Informação Geográfica E Modelação Territorial Aplicados Ao Ordenamento) - Universidade De Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/17806>. Acesso Em: 15 Jan. 2025.

INPE. **Monitoramento dos Focos Ativos por País - Programa Queimadas - INPE.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/estatisticas/estatisticas_paises/. Acesso em: 15 jan. 2025.

VIDALIS-KELAGIANNIS, M. *Et Al.* **Gnss And Uav In Archeology: High-Resolution Mapping In Cephaloniaisland, Greece.** Gps And Gnss Technology In Geosciences, P. 371–390, 1 Jan. 2021. Acesso Em: Ago. 2025.

RUCHKYS, U. A. **Geoparques E A Musealização Do Território: Um Estudo Sobre O Quadrilátero Ferrífero.** Puc-Mg. Revista Do Instituto De Geociências - Usp, São Paulo, V.5, P. 35-46, 2009.

NERY, F. H. **Variabilidade Pluviométrica Na Região Do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Análise Da Média Anual De Precipitação Do Período De 1991-2002.** Cadernos Do Leste, [S. l.], V. 16, N. 16, 2016. Doi: 10.29327/249218.16.16-2. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/12869>. Acesso em: 31 jul. 2025.

MENDONÇA, M. G. DE; SOUZA, S. M. DE. **Cerrado – Bioma Ameaçado: Impactos Ambientais Causados Pelo Processo De Ocupação – Estudo Sobre As Queimadas No Município De Goiás.** 28 F. Monografia (Licenciatura Em Geografia). Unidade Universitária Cora Coralina. Universidade Estadual De Goiás. Goiás-Go, 2001.

MITTERMEIER, R. A., P. R. GIL, M. HOFFMANN, J. PILGRIM, J. BROOKS, C. G. MIITERMEIER, J. LAMOURUX & G. A. B. FONSECA. **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest And Most Endangered Terrestrial Ecoregions.** 2004. Cemex. Washington, Dc.

JACOBI, C. M.; DO CARMO, F. F.; VINCENT, R.C. **Estudo Fitossociológico De Uma Comunidade Vegetal Sobre Canga Como Subsídio Para A Reabilitação De Áreas Mineradas No Quadrilátero Ferrífero, MG.** Sociedade de Investigações Florestais. R. Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.345-353, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/YF5RmV6swh4vwZRsbWhQnsJ/?lang=pt>>. Acesso em :31/07/2025.

DINIZ, J. M. F. D. S.; REIS, A DOS. A.; JUNIOR, F. W. A.; GOMIDE, L, R. **Detecção Da Expansão Da Área Minerada No Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, No Período De 1985 A 2011 Através De Técnicas De Sensoriamento Remoto.** Boletim De Ciências Geodésicas 20, N. 3 (2014): 683–700. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702014000300039>.

MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Queimadas e Incêndios Florestais.** Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/queimadas_incendios_florestais_atuacao_vigilancia_ambiental.pdf. 2021. Acesso em 7 de agosto de 2025

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Noncommunicable Diseases.** 2018. Disponível em: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>. Acesso em agosto de 2025.

VICTORINO, C J A. **Canibais Da Natureza: Educação Ambiental, Limites Igualdades De Vida.** Petrópolis: Vozes, 2000.