



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**MONITORAMENTO DE QUEIMADAS E SEUS EFEITOS
ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Geovane Carlos Miguel

Itajubá, MG

2023

MONITORAMENTO DE QUEIMADAS E SEUS EFEITOS ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO

por

Geovane Carlos Miguel

Monografia apresentada à comissão examinadora do Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas**.

Orientador: Prof. Dr. Enrique Vieira Mattos

Coorientadora: Prof^a. Dra. Michelle Simões Reboita

Itajubá, MG

2023

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**MONITORAMENTO DE QUEIMADAS E SEUS EFEITOS ATRAVÉS
DE SENSORIAMENTO REMOTO**

elaborada por

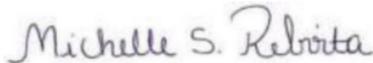
Geovane Carlos Miguel

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Enrique Vieira Mattos, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Michelle Simões Reboita, Dr^a (UNIFEI)
(Coorientador)



Marco Antônio de Oliveira Neto (CBMMG)



Nívea Adriana Dias Pons, Dr^a (UNIFEI)

Itajubá, 24 de novembro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar meus agradecimentos à minha família, especialmente aos meus pais, Geraldo e Vanda, por todo o apoio e ajuda durante a minha vida.

Agradeço imensamente aos meus orientadores, Enrique e Michelle, pela ajuda, ensinamentos e pela oportunidade que me deram para realizar este trabalho. Um agradecimento especial à professora Nívea e ao Tenente Marco pelo auxílio durante a realização deste trabalho.

Também agradeço aos meus colegas do curso de Ciências Atmosféricas por toda a convivência e apoio ao longo destes anos. A ajuda de vocês foi essencial durante todo esse período na UNIFEI.

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

MONITORAMENTO DE QUEIMADAS E SEUS EFEITOS ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO.

AUTOR: GEOVANE CARLOS MIGUEL
ORIENTADOR: Prof. Dr. ENRIQUE VIEIRA MATTOS
COORIENTADORA: Prof^a. Dra. MICHELLE SIMÕES REBOITA
Local e Data da Defesa: Itajubá, 24 de novembro de 2023.

As queimadas são eventos que causam impactos negativos no meio ambiente, saúde e economia. Portanto, é importante realizar o monitoramento das áreas queimadas, bem como sensibilizar a população a respeito dos riscos. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a ocorrência de queimadas no município de Itajubá - MG entre 2019 e 2022, utilizando registros de queimadas do Corpo de Bombeiros de Itajubá e de focos de calor do Programa de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram identificados os bairros, a natureza de origem e os períodos do ano com maiores ocorrências de queimadas e seus impactos. Adicionalmente, foi avaliada a relação entre as queimadas e monóxido de carbono (CO) e material particulado de diâmetro inferior a 2,5 micrômetros (PM_{2,5}). Os resultados mostraram que entre os meses de agosto e setembro há um pico nas ocorrências de queimadas e focos de calor, contribuindo para o aumento das concentrações de CO e PM_{2,5} na atmosfera. A origem principal de queimadas ocorre em áreas urbanas, onde os bairros com maior frequência de queimadas foram Pinheirinho, Nações, Medicina, Anhumas e Novo Horizonte. Os períodos do ano com menores volumes de precipitação e umidade do solo potencializaram o aumento de ocorrência das queimadas.

Palavras-chave: Queimadas. Focos de calor. Satélites. Registros *in situ*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Município de Itajubá – MG.....	19
Figura 2 – Relevo do Município de Itajubá – MG.	20
Figura 3 – Acumulado de queimadas por bairros de Itajubá e municípios vizinhos entre 2019 e 2022.	29
Figura 4 – Mapa espacial do acumulado anual e total dos registros de queimadas por bairros em Itajubá.....	30
Figura 5 - Mapa espacial do acumulado anual e total dos registros de focos de calor em Itajubá.....	31
Figura 6 – Acumulado de queimadas por natureza principal de origem entre 2019 e 2022.	32
Figura 7 - Distribuição anual dos registros de queimadas (focos/ano) a partir das informações fornecidas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá (barras de cor cinza). Distribuição anual dos focos de calor (focos/ano) registrados em Itajubá a partir das informações dos satélites (Tabela 3) utilizados pelo INPE (barras de cor laranja). Acumulado de precipitação anual (mm/ano) registrada pela estação meteorológica automática da UNIFEI (linha com marcador de cor azul).....	34
Figura 8 - Distribuição total do acumulado mensal (focos/mês) dos registros de queimadas a partir das informações fornecidas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá (barras de cor cinza) e focos de calor registrados a partir das informações dos satélites utilizados pelo INPE (barras de cor laranja) para Itajubá.	35
Figura 9 – (A) Distribuição mensal anual (focos/mês) dos registros de queimadas a partir das informações fornecidas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá, (B)focos de calor registrados em Itajubá a partir das informações dos satélites utilizados pelo INPE e (C) acumulado de precipitação mensal anual (mm/mês) registrada pela estação meteorológica automática da UNIFEI. As linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo.	36
Figura 10 – Variação anual do acumulado diário de focos de queimadas registradas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.....	37
Figura 11 – (A) Distribuição horária (focos/hora) dos registros de queimadas fornecidas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá, (B) focos de calor monitorados através dos satélites utilizados pelo INPE e acumulado total de queimadas (barras de	

cor cinza) e de focos de calor (barras de cor laranja) para cada ano de estudo. Nas Figuras 10A-B as linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo.....	39
Figura 12 – (A) Distribuição média mensal da concentração de CO (DU) proveniente do do sensor TROPOMI do satélite S5P, PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) do Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington e (C) umidade do solo (m^3/m^3) do produto <i>soil_moisture_am</i> do conjunto de dados <i>Soil moisture radiometer enhanced</i> sobre Itajubá. As linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo (Figuras 8A, 8B e 8C).....	42
Figura 13 - Distribuição espacial da concentração média mensal de Monóxido de CO (Unidades Dobson-DU) em Itajubá proveniente do sensor TROPOMI do satélite S5P.	44
Figura 14 - Distribuição espacial da concentração média mensal de PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em Itajubá proveniente do Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington.	45
Figura 15 - Distribuição espacial média mensal de umidade do solo (m^3/m^3) em Itajubá proveniente do produto do produto <i>soil_moisture_am</i> do conjunto de dados <i>Soil moisture radiometer Enhanced</i>	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Municípios monitorados pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.....	21
Tabela 2 – Sigla e tipo de natureza dos incêndios confirmados pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá na cidade de Itajubá - MG entre os anos de 2019 e 2022.	21
Tabela 3 – Classificação dos satélites utilizados pelo INPE para detecção de focos de calor.	23
Tabela 4 – Especificação dos dados utilizados no trabalho.	25
Tabela 5 – Relação dos focos de calor que detectaram focos de queimadas.	40

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CO	–	Monóxido de carbono
CO ₂	–	Dióxido de carbono
ESA	–	European Space Agency
GOES	–	Geostationary Operational Environmental Satellite
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
METOP	–	Meteorological Operational Satellite
MSG	–	Meteosat de Segunda Geração
MG	–	Minas Gerais
MODIS	–	Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer
NASA	–	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	–	National Oceanic and Atmospheric Administration
PM _{2,5}	–	Material particulado de diâmetro inferior a 2,5 micrômetros
SMAP	–	Mission Soil Moisture Active Passive
S5P	–	Sentinel 5 precursor
S-NPP	–	Suomi-National Polar Orbiting Partnership
TROPOMI	–	Tropospheric Monitoring Instrument
UC	–	Unidades de Conservação
UNIFEI	–	Universidade Federal de Itajubá
UV	–	Ultravioleta
UV-VIS	–	Ultravioleta-Visível
NIR	–	Infravermelho Próximo
NO ₂	–	Óxido Nitroso
SWIR	–	Infravermelho de Ondas Curtas
2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá	–	Corpo de Bombeiros de Itajubá

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Importância das queimadas	14
2.2 O uso de satélites no monitoramento de queimadas e dos seus efeitos	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Região de estudo	19
3.2 Dados	20
3.2.1 Registros de queimadas registradas pelo Corpo de Bombeiros.....	20
3.2.2 Focos de calor	22
3.2.3 CO e material particulado.....	23
3.2.4 Variáveis ambientais	24
3.3 Metodologia	25
3.3.1 Distribuição temporal, espacial e tipo de natureza das queimadas registradas pelo 2ºpel/1ªcia/7ªCialndBM - Itajubá.....	25
3.3.2 Distribuição temporal dos focos de calor estimado por satélites	26
3.3.3 Distribuição temporal de CO, PM _{2,5} e das variáveis ambientais	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Avaliação da natureza das queimadas e a sua frequência por bairros de itajubá e municípios vizinhos.....	27
4.2 Distribuição temporal dos focos de calor, registro de queimadas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá e precipitação	32
4.3 Distribuição espacial-temporal das concentrações de CO, PM _{2,5} e umidade do solo	41
4.3.1 Distribuição temporal mensal das concentrações de CO, PM _{2,5} e umidade do solo.....	41
4.3.2 Dstribuição espacial das concentrações de CO, PM _{2,5} e umidade do solo.....	42
5. CONCLUSÕES	47

1. INTRODUÇÃO

As queimadas são eventos de extrema relevância devido aos impactos negativos que elas podem causar ao meio ambiente, saúde e economia. No meio ambiente as queimadas modificam a fauna e a vegetação, causando erosão, degradação do solo e poluição do ar (SANTANA, 2016). A derrubada de florestas, seguida de queimadas causam prejuízos à biodiversidade, ao ciclo hidrológico, ciclo do carbono na atmosfera e significa uma ameaça significativa às espécies de animais e de plantas (MESQUITA, 2008). Além disso, durante as queimadas há a liberação de poluentes gasosos e material particulado fino na atmosfera. A exposição a esses elementos pode ter efeitos diretos no sistema respiratório, especialmente em grupos de pessoas mais sensíveis. Os poluentes microscópicos ao penetrarem nos sistemas respiratório e circulatório do organismo humano podem provocar doenças agudas e crônicas (BRASIL, 2021). O aumento no número de atendimentos de urgência e internações hospitalares por doenças respiratórias tem sido associado à exposição à fumaça resultante da queima de biomassa florestal. No entanto, apesar dessas evidências, os efeitos das queimadas na saúde humana ainda são pouco estudados (MASCARENHAS *et al.*, 2008). No setor agrícola, quando as queimadas são realizadas de forma incorreta e sem preparo, podem provocar queimadas descontroladas, podendo afetar áreas de cultivo e plantações, podendo levar à perda de colheitas e comprometimento da produção agrícola (SILVESTRE, 2019; MARTINS; MOREIRA, 2021; LONGO, 2022).

O incêndio florestal é caracterizado pelo fogo sem controle que avança sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser iniciado pelo homem (intencional ou acidental) ou por fonte natural (relâmpagos). Em contrapartida, a queimada representa o uso do fogo, seja para manejo de áreas de agricultura e pecuária ou com objetivos de conservação ambiental, como redução do combustível florestal (prevenção de incêndios), manejo da paisagem e preservação dos ecossistemas dependentes do fogo (IBAMA, 2023). Estima-se que os seres humanos sejam responsáveis por cerca de 75% de todos os eventos de queimadas e incêndios florestais (WWF, 2020).

As queimadas e incêndios florestais predominam nos biomas da Amazônia, Cerrado e Pantanal, e têm aumentado proporcionalmente em relação aos indicadores de desmatamento. Além disso, as projeções para as regiões onde ocorrem os focos de calor sugerem que os regimes de fogo se intensificarão, e que em razão das mudanças climáticas projetadas para essas regiões, que tornam as regiões mais

secas e inflamáveis, dobrarão a área queimada por incêndios florestais até 2050 (BRASIL, 2020).

A compreensão sobre a natureza da origem das queimadas é fundamental para a gestão ambiental e a preservação do meio ambiente. A distinção de queimadas que ocorrem em áreas urbanas e rurais pode auxiliar órgãos públicos a tomarem medidas mais eficientes e assertivas no combate às queimadas. Em áreas urbanas, incêndios podem surgir devido à negligência humana, descarte impróprio de resíduos, ou até mesmo ações criminosas. Nas áreas rurais, as queimadas frequentemente têm origem em atividades agrícolas e pecuárias descontroladas.

Para diminuir os impactos decorrentes das queimadas, diversas estratégias de detecção de focos de queimadas são empregadas atualmente, incluindo: i) sistemas de torres de monitoramento, ii) câmeras de vigilância, iii) registros *in locu* e iv) monitoramento via satélite. Estudos assim podem contribuir para mapear as regiões e períodos do ano que mais ocorrem queimadas, podendo assim mapear o grau de vulnerabilidade à ocorrência de queimadas e seus efeitos. Por exemplo, o Corpo de Bombeiros da cidade de Itajubá possui um banco de dados de registros de queimadas desde 2019. Este banco de dados abrange registros verificados e confirmados *in locu*. No entanto, uma alternativa eficiente a esses métodos terrestres é a utilização de satélites para o monitoramento da ocorrência de queimadas. Os satélites meteorológicos permitem o monitoramento de áreas extensas, inclusive regiões de difícil acesso, com uma alta resolução temporal. O monitoramento por satélite é realizado através da detecção de focos de calor. Focos de calor representam a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (píxel) do satélite, que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km (INPE, 2023b). Neste pixel pode haver uma ou várias queimadas distintas que a indicação será de um único foco de calor. Sendo uma queimada muito extensa, ela será detectada em alguns pixels vizinhos, ou seja, vários focos estarão associados a uma única grande queimada.

O uso de dados de satélite tem sido amplamente utilizado no manejo de queimadas florestais, mapeamento de focos de calor, detecção de fumaça e mapeamento da gravidade da queimada (JANG *et al.*, 2019). Em adição, os satélites podem ser uma alternativa viável para o monitoramento dos gases produzidos pelas queimadas, principalmente em locais com ausência de sensores em solo para medição de gases produzidos por queimadas. Por exemplo, atualmente em operação, o programa de satélites europeu *Copernicus Sentinel Expansion Mission* possui o

satélite Sentinel 5 precursor (S5P) (disponível em: https://space.oscar.wmo.int/satelliteprogrammes/view/sentinel_5p). O satélite S5P possui a bordo o sensor *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) capaz de fornecer informações sobre a concentração de monóxido de carbono, ozônio, metano, formaldeído, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre (disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>).

Embora existam diversas bases de dados relacionadas a queimadas, ainda são escassos estudos que a informações de satélites e observações em solo de registros de queimadas na cidade de Itajubá. Nesse contexto, o presente trabalho visa identificar a distribuição espacial e temporal das queimadas na cidade de Itajubá no período de 2019 a 2022. Espera-se com os resultados entender melhor a dinâmica das queimadas e seus efeitos no município de Itajubá.

1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é identificar a distribuição espacial e temporal das queimadas na cidade de Itajubá no período de 2019 a 2022.

1.2 Objetivos específicos

- 1) Avaliar a frequência por bairros e natureza de origem das queimadas de Itajubá através do banco de dados disponibilizados pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá.
- 2) Avaliar a distribuição diurna, mensal e anual dos registros de focos de calor observados por satélites e sua relação com as variáveis ambientais e gases traços.
- 3) Avaliar a distribuição diurna, mensal e anual dos registros de queimadas observadas em solo pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá e sua relação com as variáveis ambientais, CO e PM_{2,5}.
- 4) Caracterizar a distribuição mensal e anual de CO e PM_{2,5}.
- 5) Relacionar as queimadas identificadas pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá com os focos de calor observados por satélites.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Função das queimadas controladas

O fogo é um processo fundamental do sistema terrestre que afeta os ecossistemas, as propriedades da superfície terrestre, o ciclo do carbono, a química atmosférica, os aerossóis e as atividades humanas (MARLON *et al.*, 2008). Esse processo natural do planeta Terra dominou a ecologia de muitos ecossistemas terrestres ao longo da história. Segundo Wrangham *et al.* (1999), o fogo desempenhou um papel fundamental em várias etapas da evolução da espécie humana, desde o seu aparecimento há aproximadamente 2,5 milhões de anos. Acredita-se que a sua evolução tenha sido impulsionada pela habilidade de cozinhar, ou seja, pelo uso do fogo.

No Brasil, o uso da prática de queimadas ainda é amplamente empregado como método de preparação de áreas agrícolas destinadas ao cultivo de lavouras, renovação de pastagens, controle e combate de pragas e doenças de plantas, bem como para lidar com o crescimento de plantas invasoras (CAPECHE, 2012). De acordo com França *et al.* (2012), as atividades relacionadas à agricultura e à pecuária extensiva no Brasil contribuem significativamente para as emissões de gases e partículas na atmosfera, resultantes do uso do fogo como prática de manejo da terra e de mudanças nos padrões naturais de emissões devido a alterações no uso e cobertura do solo. Segundo Lima (2018), a expansão da fronteira agrícola, atividades humanas de manejo do solo e pastagem aumentaram a ocorrência de queimadas, principalmente nos biomas do Cerrado e Amazônia. A prática do fogo causa impactos irreparáveis, como a perda de biodiversidade, erosão do solo, destruição de habitats, emissão de gases de efeito estufa e entre outros.

As queimadas têm uma série de impactos significativos que afetam negativamente o meio ambiente. Entre os principais efeitos, estão incluídas a alteração da estrutura da vegetação, a mortalidade de espécies, a perda de biodiversidade e, em casos recorrentes, a degradação permanente da área (ARAÚJO *et al.*, 2013). Na atmosfera, a queima de biomassa resultante das queimadas contribui para a emissão de gases e partículas que têm o potencial de alterar a composição atmosférica e comprometer a qualidade do ar (LANGMANN *et al.*, 2009). De acordo com Arbex *et al.* (2004), as queimadas em florestas tropicais do planeta e a poluição devida à fumaça gerada tem um importante impacto sobre a saúde das populações expostas. Esse impacto inclui aumento de mortalidade, de admissões hospitalares, de

visitas à emergência e de utilização de medicamentos devido a doenças respiratórias e cardiovasculares, além de diminuição da função pulmonar. No setor agrícola as queimadas são realizadas para a limpeza de áreas, controle de pragas, remoção da vegetação seca e restos do cultivo (LAUK; ERB, 2009). No entanto, quando são realizadas de forma incorreta, podem resultar em queimadas descontroladas que afetam áreas de cultivo e plantações, podendo levar à perda de colheitas e comprometimento da produção agrícola. De acordo com Diaz *et al.* (2001), as queimadas acidentais podem trazer danos aos cultivos perenes e árvores frutíferas, causando grandes perdas devido ao alto investimento necessário para estabelecer e manter essas culturas.

2.2 O uso de satélites no monitoramento de queimadas e dos seus efeitos

No Brasil as queimadas (controladas ou acidentais) são monitoradas diariamente pelo Programa de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>), através de diversos satélites, como por exemplo os satélites em órbita geoestacionária (*Geostationary Operational Environmental Satellite* – GOES e *Meteosat de Segunda Geração* - MSG) e os de órbita polar (*National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA, TERRA, AQUA, METOP e NPP) (INPE, 2023a). O princípio físico de detecção de focos de calor por sensores remotos está associado ao fato de que um corpo em chamas emite máxima radiação eletromagnética (REM) na faixa termal média do espectro óptico de 3,7 μm a 4,1 μm (INPE, 2023b). E assim utilizando as imagens de diversos satélites que operam neste espectro, é selecionando o pixel (elementos de resolução) com maior temperatura e obtidos assim os focos de queimadas.

Nos últimos anos as informações provenientes de satélites têm sido amplamente empregadas na estimativa de focos de calor no Brasil. Sua aplicação tem desempenhado um papel crucial na obtenção de dados precisos e em tempo real sobre as queimadas que ocorrem no país (MESQUITA, 2008; SANTANA, 2016; LIMA, 2018; SANTOS *et al.*, 2019). Por exemplo, o estudo realizado por Lima (2018) quantificou os focos de queimadas nos biomas da Amazônia e do Cerrado nas estações chuvosa e seca no ano de 2017. Os resultados mostraram que a quantidade de focos na estação seca foi maior que na estação chuvosa, com máximo no mês de setembro, devido à escassez de chuvas.

Em adição, Santana (2016) avaliou a aplicação de uma metodologia automática para o mapeamento de áreas queimadas na Floresta Amazônica a partir de séries temporais do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) entre os anos de 2000 e 2014. Os resultados indicaram uma forte correlação entre a área total queimada e o desmatamento, com as áreas desmatadas sendo responsáveis por mais de 70% da área total queimada anualmente. Esses resultados evidenciam a influência humana nos padrões de queimadas atuais, seja por meio do uso do fogo para desmatamento em novas áreas ou para a manutenção de pastagens e atividades agrícolas.

No estudo de Mesquita (2008) foram analisados os impactos das queimadas no meio ambiente, incluindo os ecossistemas naturais, as áreas construídas e a saúde humana. Além disso, o autor investigou especificamente os efeitos prejudiciais dessas queimadas na biodiversidade da região do Acre. Seus principais resultados evidenciaram os prejuízos irreparáveis causados à biodiversidade, ao ciclo hidrológico e ao ciclo do carbono na atmosfera devido ao desmatamento seguido de queimadas. Além disso, a liberação de fumaça e gases como o monóxido de carbono e o ozônio resulta em concentrações atmosféricas que agravam o tempo seco, aumentam as temperaturas e tornam o ar poluído e impróprio para respirar.

Considerando o Estado de Minas Gerais (MG), Santos *et al.* (2019) analisaram a distribuição espaço-temporal dos focos de calor nas escalas temporal mensal e anual usando 15 anos (2003-2017) de dados do satélite AQUA. Os resultados obtidos revelaram que o período com maior incidência de queimadas no sudeste do Brasil ocorre entre julho e outubro, abrangendo a transição da estação seca para o início da estação chuvosa, sendo setembro o mês de máxima ocorrência. Em relação à precipitação observou-se uma defasagem de dois meses entre os períodos de menor pluviosidade (julho) e o pico de incidências de focos de calor (setembro).

No estudo realizado por Santos (2020) foram utilizados dados de focos de calor como indicadores de ocorrência de fogo gerados a partir do satélite AQUA. Os focos de calor foram relacionados e correlacionados com dados das variáveis ambientais (precipitação, temperatura e umidade relativa) nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. O período de análise compreendeu os anos de 2003 a 2018. O pico de ocorrência de focos de calor ocorreu entre os meses de agosto e setembro em ambos os Estados. A correlação entre os focos de calor com as variáveis ambientais mostrou maior associação entre foco de calor e a precipitação em Mato Grosso. Isso

se deve à sazonalidade da precipitação ser mais bem definida, pronunciada e abrangente na região. Além disso, observou-se uma forte associação entre foco de calor e umidade relativa em Mato Grosso do Sul. Essa relação se deve, em grande parte, à influência de condições extratropicais presentes na área, especialmente a incursão de sistemas frontais.

Pereira *et al.* (2014) avaliaram o histórico de focos de calor no Estado de Minas Gerais durante o período de 1999 e 2009 fazendo uso dos dados de focos de calor provenientes do satélite NOAA-12 e NOAA-15, que fazem parte da série de satélites polares do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Em termos da variação mensal de focos de calor foram observados os maiores valores entre os meses de julho e novembro, apresentando pico em outubro. Comparando a variação espacial dos focos de calor, as regiões situadas no Norte (Sul) do estado apresentaram a maior (menor) frequência e densidade de ocorrências de focos de calor.

Pereira (2020) investigou a relação entre os focos de calor (satélite AQUA), internações por crises respiratórias e variáveis ambientais nos municípios do Estado de Minas Gerais durante os anos de 2014 e 2015. Os resultados obtidos mostraram que o período crítico dos focos de calor em Minas Gerais ocorreu entre os meses de julho e outubro, com um pico observado em outubro. Durante esse período, também foram registrados valores baixos de umidade relativa e precipitação. Em relação a distribuição espacial, no ano de 2014 os focos de calor se concentraram nos setores centro-sul e nordeste do estado, enquanto em 2015 se concentraram no setor nordeste. No estudo também foi observado que não há uma correlação direta entre focos de calor e internações por crises respiratórias.

A queimada é um processo de combustão incompleta que ocorre ao ar livre e é influenciado por diversos fatores, como o tipo de matéria vegetal envolvida, sua densidade, umidade, entre outros, além das condições ambientais, especialmente a velocidade do vento. Devido à sua natureza incompleta, a queimada resulta na emissão inicial de substâncias como monóxido de carbono (CO) e material particulado (fuligem) (JUNIOR *et al.*, 2015).

De acordo com Freitas (2005), as queimadas podem ser descritas em quatro estágios básicos: i) ignição, ii) chamas, iii) brasas e iv) extinção. A ignição é influenciada por diferentes fatores, incluindo o tipo de biomassa, níveis de umidade e condições ambientais, como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento. No

estágio de chamas das queimadas, as altas temperaturas causam a quebra das moléculas da biomassa. Isso resulta na decomposição de componentes de alto peso molecular, como carvão e alcatrão, que servem como fonte de energia primária para as chamas. Além disso, é nessa fase em que se inicia a liberação de compostos gasosos, como o CO e CO₂ (dióxido de carbono). Durante o estágio de brasa, onde a temperatura está mais baixa, há uma redução drástica na produção de CO₂, entretanto, há um aumento na emissão de compostos oxidados, como o CO, além de uma rápida formação de partículas por acreção de partículas orgânicas de carbono. Por último, a fase de extinção ocorre quando há uma diminuição na quantidade de biomassa disponível para queima.

No contexto do que foi discutido anteriormente, além da detecção e caracterização dos focos de incêndio, atualmente existem técnicas de sensoriamento remoto destinadas a observar e quantificar os efeitos dos gases emitidos pelas queimadas. Por exemplo, o satélite Sentinel 5 Precursor (S5P) foi lançado em 13 de outubro de 2017 pela *European Space Agency* (ESA) numa órbita sol-síncrona a 824 km de altura para monitorar a poluição do ar. O sensor integrado ao satélite é referido como TROPOMI (*TROPospheric Monitoring Instrument*) (GEE, 2023b).

A utilização do TROPOMI é considerada atualmente a forma mais inovadora de detectar os níveis de poluentes no mundo. O TROPOMI é um sistema de quatro espectrômetros que mede as concentrações de várias componentes atmosféricas nas faixas espectrais do ultravioleta (UV), ultravioleta-visível (UV-VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR) (PRUNET *et al.*, 2021).

Bodah *et al.* (2022) analisaram as concentrações dos gases NO₂ (óxido nitroso) e CO utilizando imagens do satélite S5P no estudo da qualidade do ar na cidade de Passo Fundo no Estado do Rio Grande do Sul nos meses de janeiro, maio, agosto e novembro de 2019. Os resultados mostraram que as concentrações médias mensais de NO₂ (mol/cm²) foram: $7,88 \times 10^{15}$ em janeiro, $1,09 \times 10^{16}$ em maio, $7,30 \times 10^{15}$ em agosto e $6,54 \times 10^{15}$ em novembro. As concentrações médias mensais de CO (mol/cm²) foram: $1,35 \times 10^{34}$ em janeiro, $9,43 \times 10^{33}$ em maio, $9,75 \times 10^{33}$ agosto e $1,05 \times 10^{34}$ em novembro. No trabalho de Gualteros *et al.* (2020) foi avaliado a variação do CO presente no ar em Cundinamarca na Colômbia durante os primeiros 6 meses dos anos de 2019 e 2020. O período selecionado correspondeu à crise do COVID-19 desde o seu início até a reabertura das atividades econômicas. Os seus resultados mostraram uma redução nos níveis de CO nos meses de março (68%) e abril (45%), que coincidiu

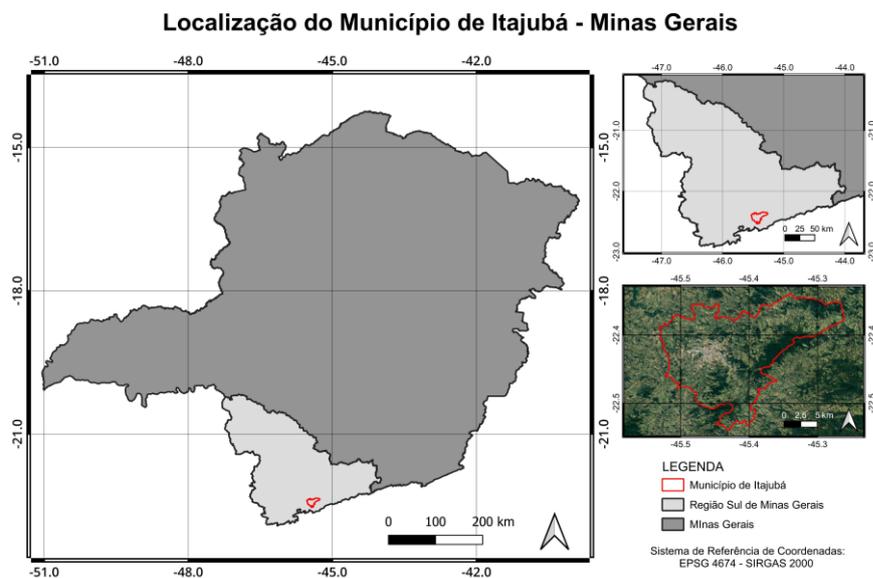
com o período de maiores restrições no isolamento obrigatório. No entanto, isso não ocorreu nos meses de maio e junho, nos quais o governo nacional ordenou uma reabertura gradual das atividades econômicas, resultando no aumento de até 20% na concentração de CO.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Região de estudo

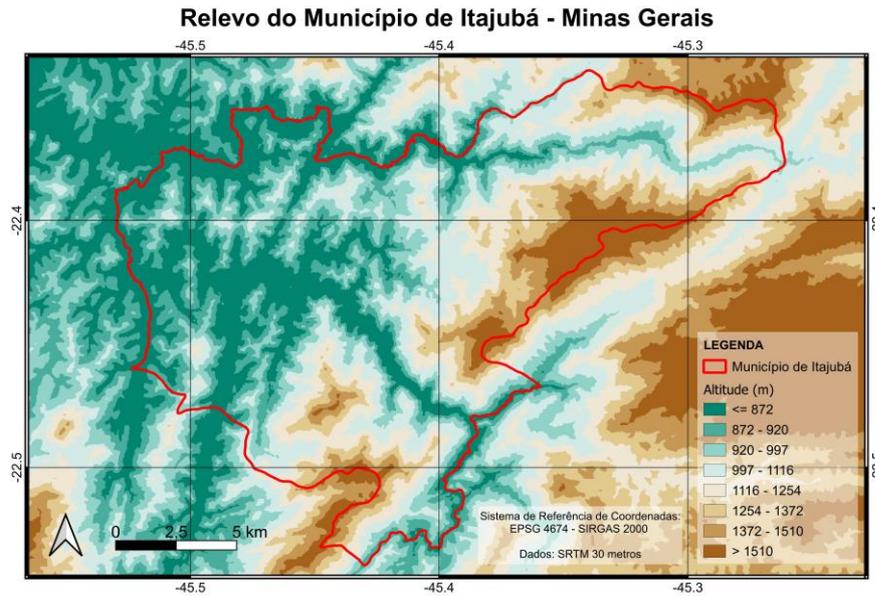
O município de Itajubá está localizado na região sul do Estado de Minas Gerais, a 22°30'30" de latitude sul, 45°27'20" de longitude oeste. O município apresenta altitudes que vão de 872 metros nas regiões mais baixas a 1510 metros nas regiões mais elevadas (Figuras 1 e 2). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023b) (disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>), o município de Itajubá abrange uma área de 294.835 km² e possui uma população estimada em 90.658 habitantes. Segundo dados fornecidos pelo MapBiomas (2023) (disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>), a distribuição do uso e cobertura do solo, no município de Itajubá possui cerca de 68,34% de sua área destinada à agropecuária, englobando pastagens, agricultura e silvicultura. As florestas cobrem aproximadamente 26,32%, enquanto 5,32% são classificados como áreas não vegetadas. Corpos d'água representam apenas 0,02%.

Figura 1 – Localização do Município de Itajubá – MG.



Fonte: IBGE (2023a).

Figura 2 – Relevo do Município de Itajubá – MG.



Fonte: NASA (2023).

A classificação climática de Köppen-Geiger indica que o clima de Itajubá é classificado como Cwa, caracterizado como um clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (REBOITA *et al.*, 2015). Na literatura, esse tipo climático é conhecido também por clima de monção (Reboita *et al.*, 2010; 2023), pois os verões são úmidos e os invernos secos). A precipitação média anual é de 1458 mm, sendo que cerca de 80% desse valor ocorre entre os meses de outubro a março.

3.2 Dados

3.2.1 Registros de queimadas registradas pelo Corpo de Bombeiros

Durante todo o ano, o Corpo de Bombeiros de Itajubá (2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá) recebe através de canais de denúncias, informações de ocorrências de queimadas no município de Itajubá e municípios vizinhos, sendo monitorados 14 municípios no total (Tabela 1). Os registros de queimadas são realizados quando há intervenções do 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá através de guarnições de combate a incêndio ou guarnições especializadas de combate a incêndio florestal (GCIF), com a finalidade de extinguir o fogo, proteger a vida de possíveis vítimas, preservar o meio ambiente, preservar indícios das causas do incêndio e evitar nova ignição.

Tabela 1 – Municípios monitorados pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá.

Número	Município	Número	Município
1	Brazópolis	8	Paraisópolis
2	Consolação	9	Pedralva
3	Delfim Moreira	10	Piranguinho
4	Gonçalves	11	Piranguçu
5	Itajubá	12	São José do Alegre
6	Maria da Fé	13	Sapucaí Mirim
7	Marmelópolis	14	Wenceslau Braz

Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá.

Conforme o manual técnico de padronização de registros de queimadas utilizado pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá, as queimadas são classificadas em função do tipo de natureza. Para este estudo, foram observados 14 tipos de naturezas causadoras de queimadas, como indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Sigla e tipo de natureza dos incêndios confirmados pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá na cidade de Itajubá - MG entre os anos de 2019 e 2022.

Sigla	Tipo de Natureza
O02039	incêndio em tronco de árvore
O04001	incêndio em unidade de conservação (UC)
O04002	incêndio no entorno de UC
O04003	incêndio em produção agrícola / pasto
O04005	incêndio em área rural pertencente a órgão público
O04006	incêndio em área rural pertencente a órgão privado
O04007	incêndio em propriedade rural particular
O04008	incêndio em área rural não protegida
O04009	incêndio em área urbana pertencente a órgão público
O04010	incêndio em área urbana pertencente a órgão privado
O04011	incêndio em área urbana não protegida
O04012	incêndio em lote vago (área urbana)
O04013	incêndio em pasto
O04014	incêndio às margens de rodovia

Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá.

A natureza O02039 enquadra os incêndios ocorridos em troncos de árvore. A natureza O04001 enquadra os incêndios ocorridos em Unidades de Conservação

(UC) legalmente instituídas pelo poder público federal, estadual ou municipal, como estações ecológicas, reservas biológicas, parques, monumentos naturais, refúgios da vida silvestre, áreas de proteção ambiental, áreas de relevante interesse ecológico, florestas protegidas, reservas extrativistas, reservas de fauna, reservas de desenvolvimento sustentável e reservas particulares do patrimônio natural. A natureza O04002 enquadra os incêndios ocorridos no entorno de Unidades de Conservação (UC), também conhecidas como zonas de amortecimento. A O04003 inclui os incêndios ocorridos em áreas destinadas à agropecuária, sejam áreas de produção agrícola, cultivos de grãos, cereais e vegetais. A O04005 enquadra os incêndios ocorridos em áreas rurais pertencentes a órgãos públicos em geral, poderes Executivo, Legislativo e Judiciário da União, Estado ou Município. A O04006 inclui os incêndios ocorridos em áreas rurais pertencentes a órgãos privados em geral. A O04007 inclui os incêndios ocorridos em propriedades rurais em geral, como chácara, sítio, fazenda, rancho, estância e granja. A O04008 inclui os incêndios ocorridos em áreas rurais não protegidas, como terras sem dono, não incorporadas ao domínio privado e sem uso pelo poder público. A O04009 enquadra os incêndios florestais ocorridos em áreas urbanas pertencentes a órgãos públicos em geral, poderes Executivo, Legislativo e Judiciário da União, Estado ou Município. A O04010 abrange os incêndios florestais ocorridos em áreas urbanas pertencentes a órgãos privados em geral. A O04011 abrange os incêndios florestais ocorridos em áreas urbanas não protegidas, sejam terras sem dono, não incorporadas ao domínio privado e sem uso pelo poder público. A O04012 abrange os incêndios em lotes vagos, áreas urbanas de propriedade particular não construídas. A O04013 abrange os incêndios ocorridos em áreas de pasto ou vegetação utilizada para a alimentação do gado. Por fim, a O04014 abrange os incêndios ocorridos em vegetação às margens da rodovia.

3.2.2 Focos de calor

Foram utilizados dados de focos de calor provenientes das detecções de satélites polares e geoestacionários fornecidos pelo INPE (disponíveis em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>). As ocorrências representam a data e hora do registro de um foco de calor em superfície realizado através do canal de 4 µm dos satélites. Os sensores dos satélites polares (geoestacionários) possuem resolução espacial de 750 m (2 km) e temporal de 12 horas (10 min) (OSCAR, 2023). As informações sobre os satélites utilizados podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos satélites utilizados pelo INPE para detecção de focos de calor.

Satélite	Órbita	Resolução temporal	Resolução espacial
NOAA (<i>National Oceanic Atmospheric Administration</i>)	Polar	12 hs	750 m
METOP (<i>Meteorological Operational Satellite</i>)	Polar	12 hs	750 m
TERRA	Polar	12 hs	750 m
AQUA	Polar	12 hs	750 m
S-NPP (<i>Suomi-National Polar-Orbiting Partnership</i>)	Polar	12 hs	750 m
MSG (<i>Meteosat Second Generation</i>)	Geoestacionário	10 min	2 km
GOES (<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>)	Geoestacionário	10 min	2 km

Fonte: Elaboração Própria.

3.2.3 CO e material particulado

O registro de monóxido de carbono (CO) são fornecidos pelo satélite Sentinel-5p (S5P) (disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>) com resolução espacial e temporal de 1,1 km e diário, respectivamente. O conjunto de dados disponíveis na plataforma abrangem o período entre novembro de 2018 e o presente momento. O S5P é um satélite de observação terrestre desenvolvido pela *European Space Agency* (ESA) como parte do programa *Copernicus* de observação da Terra. Ele fornece as concentrações atmosféricas de ozônio, metano, formaldeído, aerossol, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, bem como características das nuvens (GEE, 2023b). O sensor *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) fornece medições espectrais contínuas de alta resolução nas bandas ultravioleta (UV), visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR) (ESA, 2023). Acoplado ao S5P o TROPOMI observa a abundância global de CO explorando medições de radiância da Terra em céu claro e céu nublado na faixa espectral de 2,3 μm da região do SWIR do espectro eletromagnético. As observações de céu claro do TROPOMI fornecem colunas totais de CO com sensibilidade à camada limite troposférica (GEE, 2023b).

Os dados de material particulado com tamanho inferior a 2,5 micrômetros (PM_{2,5}) são fornecidos pelo Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington nos Estados Unidos (disponível em: <https://wustl.app.box.com/v/ACAG-V5GL03-GWRPM25/folder/176283878461>) com resolução espacial de 0,01° × 0,01° e temporal de 1 mês. Os dados disponíveis abrangem o período compreendido entre 1998 e 2021. A estimativa do PM_{2,5} é realizada a partir da profundidade óptica de aerossol (AOD) estimadas pelos sensores *Moderate-resolution Imaging Spectro-radiometer* (MODIS) e *Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer* (MISR) acoplados ao satélite TERRA e do sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) a bordo do satélite *OrbView 2* (também conhecido como *SeaStar*) com o modelo de transporte químico *GEOS-Chem* e, posteriormente calibrado para observações terrestres globais usando uma Regressão Geograficamente Ponderada (DONKELAAR *et al.*, 2021).

3.2.4 Variáveis ambientais

Com o objetivo de avaliar a possível relação entre os focos de calor, registros de queimadas do 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá e as variáveis ambientais, foram utilizados dados de precipitação e umidade do solo para o município de Itajubá. Os dados de precipitação foram fornecidos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) através de sua estação meteorológica automática (disponível em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/>). Para avaliar os períodos com maior ocorrência de precipitação em Itajubá durante o período de estudo, foram obtidos o acumulado mensal de precipitação durante os anos de 2019 a 2022.

Para avaliar a umidade do solo, foi utilizado o produto *soil_moisture_am* obtido pelo conjunto de dados *Soil moisture radiometer enhanced* (disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_SMAP_SPL3SMP_E_005). O produto pertence ao conjunto de dados da *Mission Soil Moisture Active Passive* (SMAP) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (maiores informações sobre o satélite em: <https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/smap>). A resolução espacial dos dados é de 9 km, enquanto a resolução temporal é entre 2 e 3 dias e a unidade de medida m³/m³. Os dados disponíveis abrangem o período compreendido entre 31 de março de 2015 até o presente. Os dados se referem à umidade da superfície do solo

(representando aproximadamente os 5 cm superiores da coluna do solo em média, dada em m^3/m^3 , denominada como “fração do volume”) (O'NEILL *et al.*, 2021).

Os detalhes dos dados utilizados nesse trabalho podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificação dos dados utilizados no trabalho.

Dados	Fonte	Unidade	Resolução horizontal	Resolução temporal
Queimadas	2°Pel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá	adimensional	-	-
Focos de calor	INPE (https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas)	adimensional	750m - 2 km	10 min - 12 hs
Precipitação	UNIFEI (https://meteorologia.unifei.edu.br/)	mm	-	1 mês
Umidade do solo	GEE (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_SMAP_SPL3SMP_E_005)	m^3/m^3	9 km	2-3 dias
PM2,5	Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington (https://wustl.app.box.com/v/ACAG-V5GL03-GWRPM25/folder/176283878461)	$\mu g/m^3$	0,01°x0,01°	1 mês
CO	GEE (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p)	DU	1,1 km	1 dia

Fonte: Elaboração Própria.

3.3 Metodologia

3.3.1 Distribuição temporal, espacial e tipo de natureza das queimadas registradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá

Com o intuito de analisar a distribuição das queimadas registradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá, foram coletados dados sobre as ocorrências de queimadas ocorridas durante o período de janeiro de 2019 a dezembro de 2022 para obter informações sobre a distribuição horária, mensal e anual dos registros de queimadas. Para isso, as etapas do trabalho foram divididas da seguinte maneira:

- 1) As ocorrências de queimadas foram analisadas e agrupadas por horário, mês e ano de ocorrência;

- 2) As ocorrências de queimadas foram analisadas e agrupadas por bairros de Itajubá e dos municípios vizinhos;
- 3) As ocorrências de queimadas foram agrupadas por natureza principal de origem;
- 4) Foi elaborado um mapa espacial que demonstra a distribuição das queimadas por bairros, considerando cada ano de estudo e o acumulado durante o período analisado.

3.3.2 Distribuição temporal dos focos de calor estimado por satélites

Foram coletados dados de focos de calor no município de Itajubá para o período de 2019 a 2022. Por meio do portal do INPE, realizou-se o *download* de todas as informações disponíveis referentes aos registros de focos de calor identificados dentro dos limites municipais. Após a obtenção dos dados, procedeu-se à etapa de tratamento e organização. Nessa fase foram realizados o controle de qualidade e padronização dos dados, visando eliminar inconsistências e garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. Para realizar a avaliação do comportamento dos focos de calor em Itajubá, foram realizadas as seguintes etapas:

- 1) Os registros focos de calor foram agrupados por hora, mês e ano;
- 2) Com os dados agrupados foram realizados gráficos da distribuição horária, mensal e anual dos focos de calor.

3.3.3 Distribuição temporal de CO, PM_{2,5} e das variáveis ambientais

Para entender como as concentrações de CO e PM_{2,5} se comportam ao longo do tempo em Itajubá, foram realizados mapas que mostram as concentrações desses parâmetros para cada mês do ano e gráficos de distribuição linear desses parâmetros. Essa abordagem permitiu identificar os padrões e compreender como essas concentrações mudam ao longo do ano.

Utilizando os registros diários de CO obtidos por meio do satélite S5P durante o período compreendido entre janeiro de 2019 e dezembro de 2022, foram realizados:

- 1) Cálculo da média mensal da concentração de CO sobre a região de Itajubá;
- 2) Mapa espacial da concentração média de CO para cada mês do ano;
- 3) Gráfico de distribuição mensal da concentração média de CO sobre a área de estudo.

Através dos dados mensais de PM_{2,5} referentes ao período de janeiro de 2019 a dezembro de 2021 disponibilizados pelo Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington, foram realizados:

- 1) Mapa espacial da concentração média de PM_{2,5} sobre a região de Itajubá;
- 2) Gráfico de distribuição mensal da concentração média de PM_{2,5} sobre a área de estudo.

Foram utilizados dados das variáveis ambientais com o intuito de estabelecer uma relação entre essas informações e os dados de CO e PM_{2,5}, focos de calor identificados por satélites, bem como os registros de queimadas documentados pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá. Por meio dessa análise, foi possível avaliar de que forma as condições ambientais podem exercer influência sobre a incidência de queimadas e a poluição atmosférica em Itajubá.

Por meio dos registros de precipitação mensal acumulada em Itajubá no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2022, foram elaborados:

- 1) Gráfico da distribuição mensal da precipitação acumulada;
- 2) Gráfico da distribuição anual da precipitação acumulada.

A fim de avaliar a umidade do solo, utilizou-se o produto *soil_moisture_am* do conjunto de dados *Soil moisture radiometer enhanced*, durante o período de janeiro de 2019 a julho de 2022. A partir desses dados, foram realizadas:

- 1) Mapa espacial da média mensal de umidade do solo em Itajubá;
- 2) Gráfico de distribuição mensal de umidade do solo sobre a área de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da natureza das queimadas e a sua frequência por bairros de Itajubá e municípios vizinhos

A Figura 3 apresenta o acumulado dos registros de queimadas de 2019 a 2022 agrupados por bairro e município de ocorrência fornecidos pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá. Ao todo, entre 2019 e 2022, foram registrados 948 focos de queimadas. Para Itajubá, o bairro Pinheirinho é o que apresenta a maior frequência desses eventos, com um total de 68 registros de queimadas. Em sequência, os bairros das Nações e Medicina figuram com 39 ocorrências cada. Outros dois bairros, Anhumas e Novo Horizonte, também tiveram um número significativo de registros de queimadas, ambos com 35 ocorrências. Além dos bairros localizados em Itajubá, também pode ser observado alguns bairros de outros

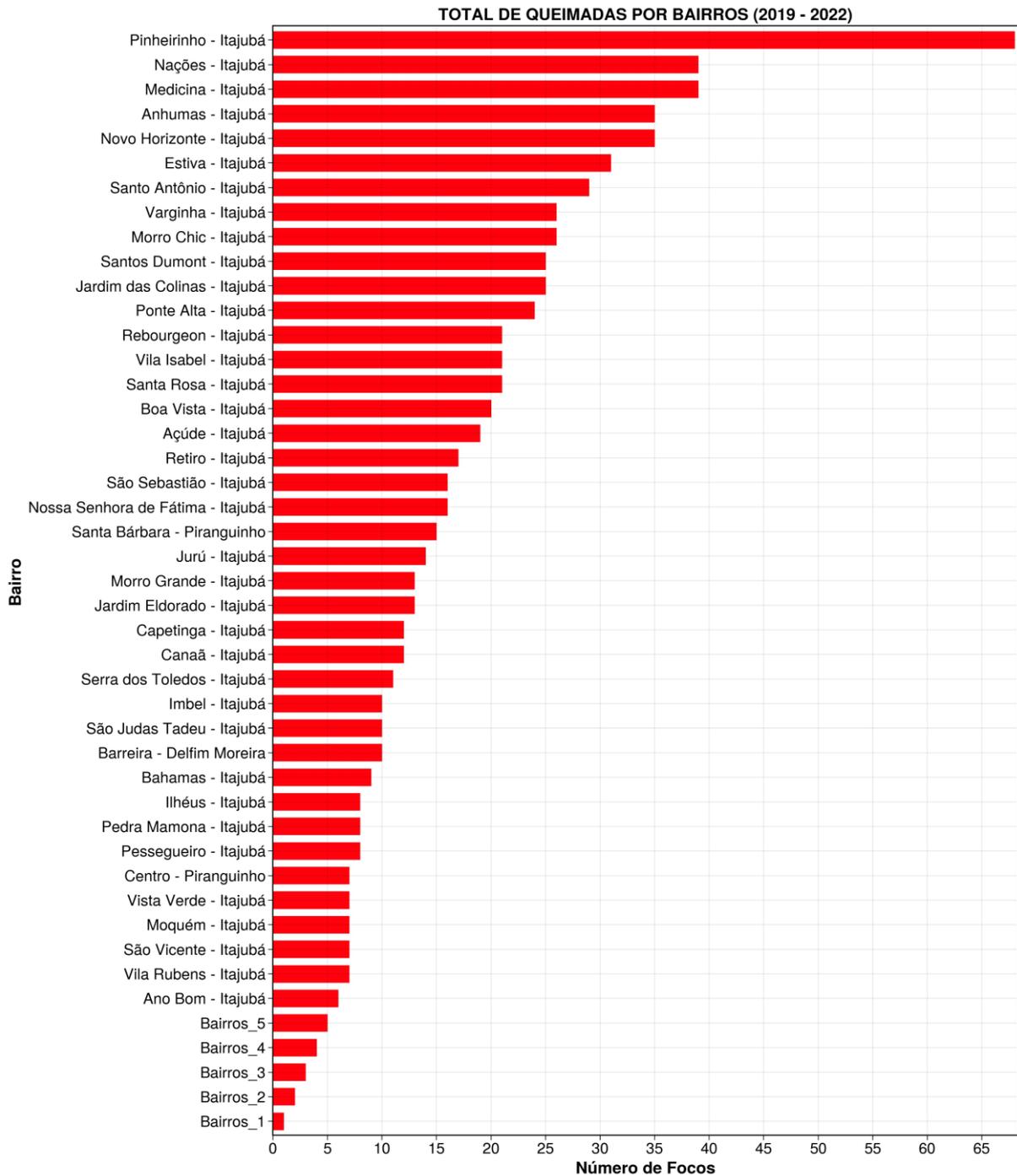
municípios próximos que foram afetados por queimadas. Por exemplo, o bairro Santa Bárbara na cidade de Piranguinho registrou 15 ocorrências, enquanto Barreira em Delfim Moreira, e Centro em Piranguinho, apresentaram 10 e 7 registros de queimadas, respectivamente.

A Figura 6 apresenta o acumulado dos registros de queimadas de 2019 a 2022 agrupados pela natureza principal de origem das queimadas. Pode ser observado que a natureza de origem das queimadas mais recorrente são os incêndios em lote vago (área urbana) (O04012), incêndios em produção agrícola / pasto (O04003) e incêndios em área urbana não protegida (O04011). O número de ocorrências para cada categoria foi de 350, 250 e 100, respectivamente. De maneira geral, observa-se que as principais naturezas de origem de focos de queimadas ocorrem em áreas urbanas (O04012 e O04011). Ocorrências como essas foram observados por Crispim (2010). O autor ressaltou que as queimadas em áreas urbanas podem ocorrer junto ao meio fio, no quintal das residências e nos imóveis comerciais, bem como em terrenos baldios. As queimadas funcionam como uma tentativa de eliminar os lixos orgânicos e sólidos, já nos terrenos vagos a intenção é eliminar a vegetação que passa por limpeza, resultando muitas vezes em fumaça poluente. Assis e Lucas (2018) avaliaram o comportamento das queimadas em áreas urbanas e identificaram a ocorrência de queimadas em locais como lotes vagos, margens de córregos, ruas que margeiam córregos, ruas sem asfaltamento e sem saída, praças não urbanizadas, resíduos acumulados em lotes vagos e margens de córregos advindos de podas de árvores. Foi percebido que, essas áreas servem como uma espécie de depósito de resíduos para moradores locais, onde após um certo período de acúmulo, optam pela prática da queima como meio de limpeza dessas áreas.

A segunda natureza de origem de queimadas mais comum (O04003) ocorre em áreas rurais. Essas práticas são comuns em regiões tropicais como o Brasil, especialmente em áreas destinada à agropecuária, como é o caso do município de Itajubá, onde 68,34% de sua área é destinada a esse tipo de atividade. Na literatura podem ser observados estudos que corroboram para esses resultados. Por exemplo, Crispim (2010) observou que as queimadas em fazendas possuem geralmente a finalidade de manejo das áreas de pastagem ou facilitar a colheita em áreas de agriculturas. Em adição, Rocha e Nascimento (2018) mostraram que as queimadas possuem estreita relação com o desmatamento e as atividades agropecuárias nos biomas brasileiros, onde as queimadas são empregadas pelos povos tradicionais e

são utilizadas para limpeza de pastos, preparo de áreas para plantio e queima de bagaços.

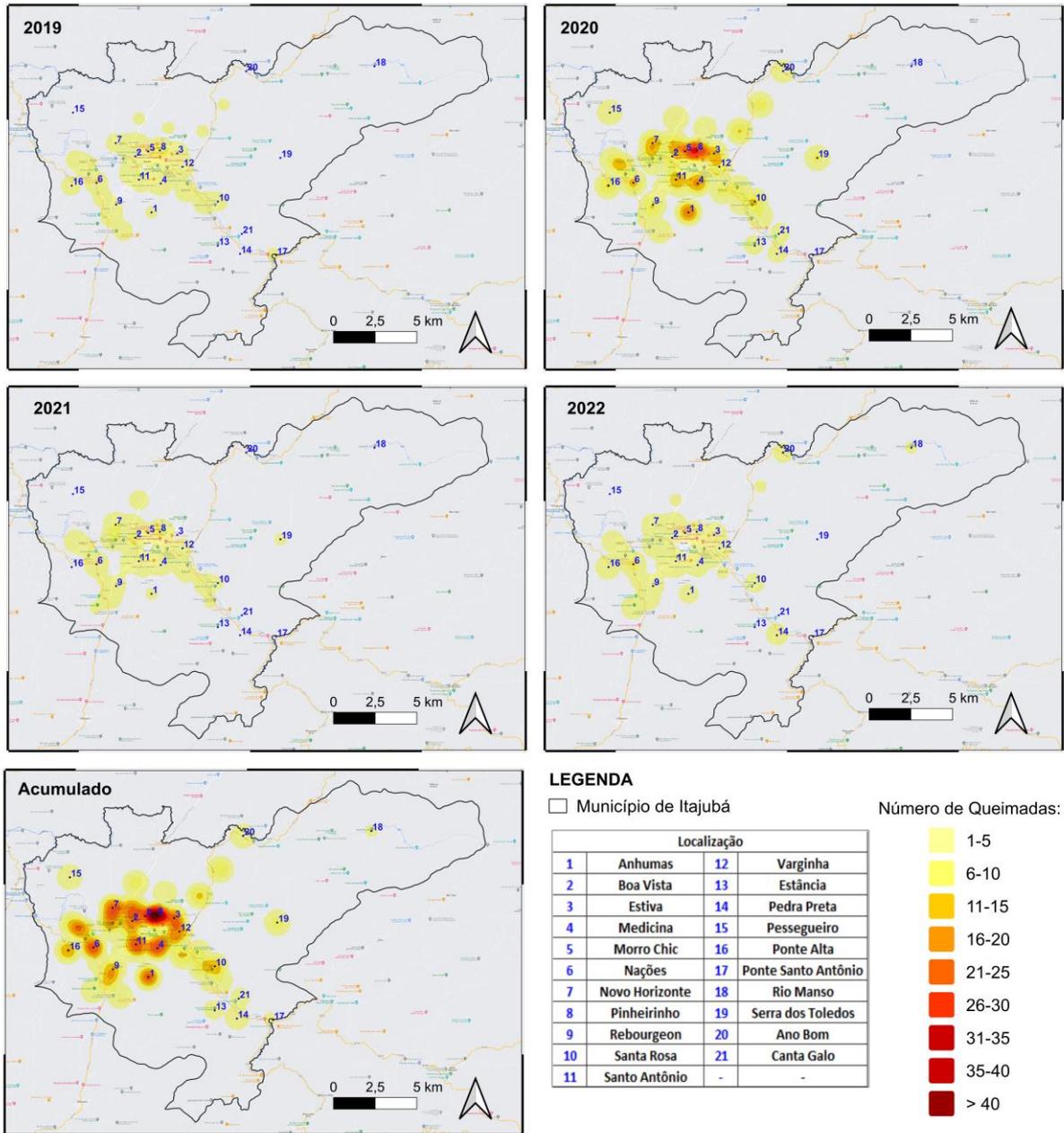
Figura 3 – Acumulado de queimadas por bairros de Itajubá e municípios vizinhos entre 2019 e 2022.



Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.

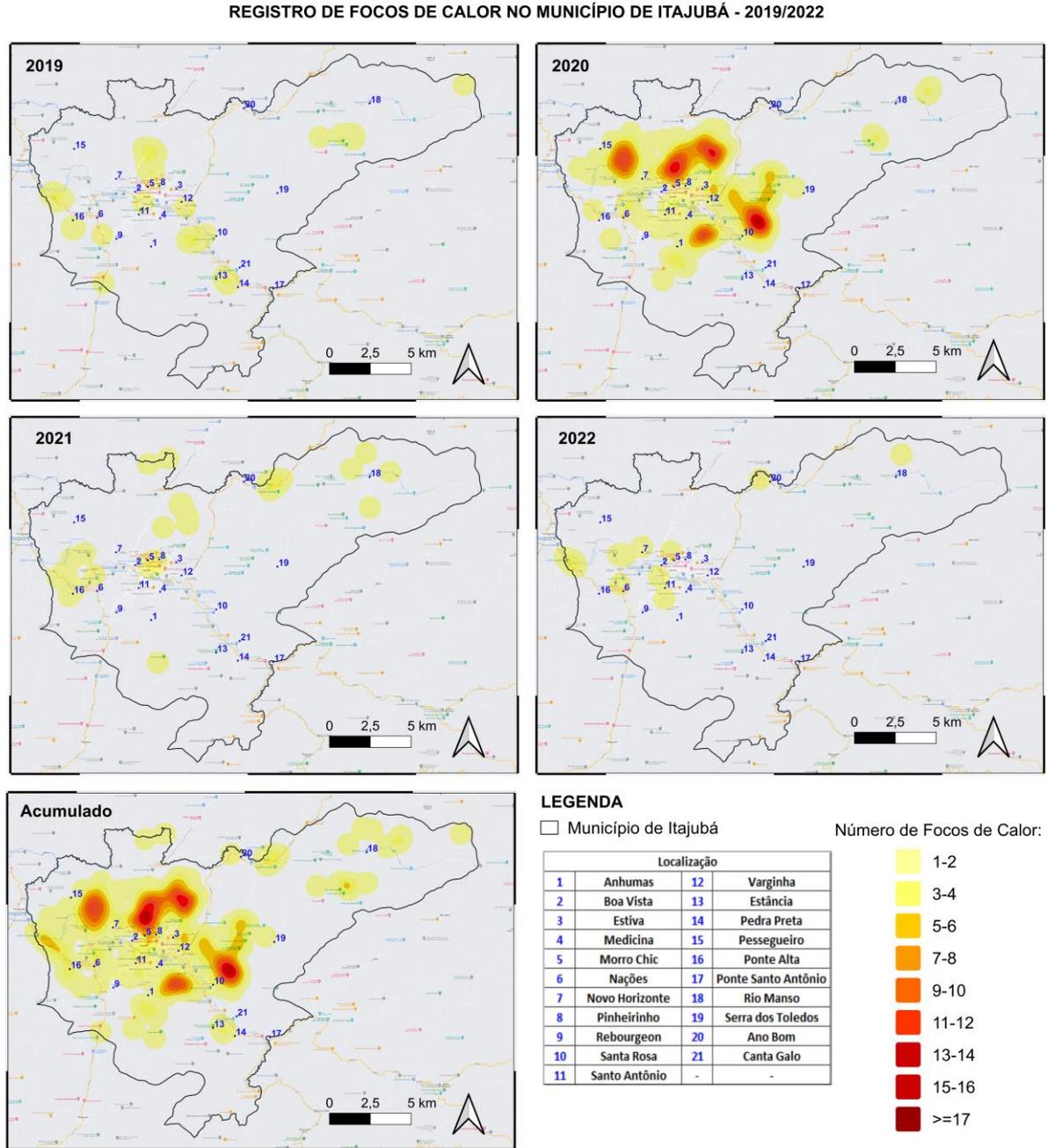
Figura 4 – Mapa espacial do acumulado anual e total dos registros de queimadas por bairros em Itajubá.

REGISTRO DE QUEIMADAS POR BAIRROS DO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ - 2019/2022



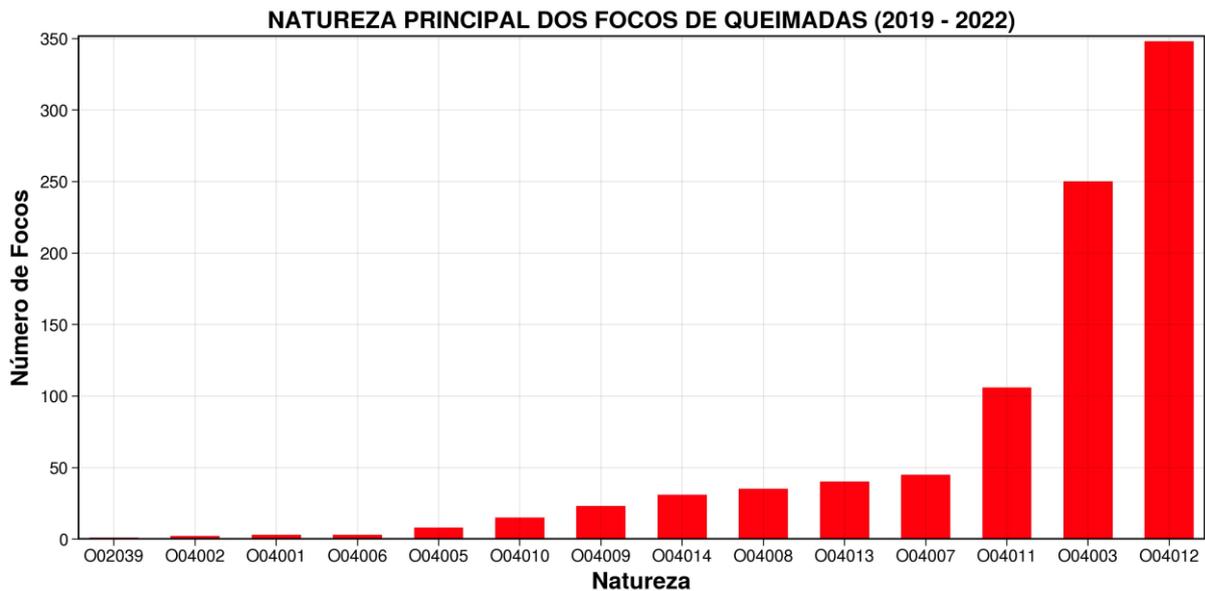
Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá.

Figura 5 - Mapa espacial do acumulado anual e total dos registros de focos de calor em Itajubá detectados por satélite.



Fonte: INPE.

Figura 6 – Acumulado de queimadas por natureza principal de origem entre 2019 e 2022.



Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá.

4.2 Distribuição temporal dos focos de calor, registro de queimadas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá e precipitação

Foram analisados a distribuição temporal dos focos de calor e dos registros de queimadas, assim como a sua relação com o regime de precipitação em Itajubá. Essa análise permitiu explorar o comportamento dessas variáveis ao longo do tempo, com ênfase nos períodos de maior incidência de queimadas, bem como seus possíveis fatores contribuintes.

A Figura 7 mostra um aumento no número de queimadas registradas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá em 2020, com 572 registros. De forma similar, através dos dados do programa de monitoramento de focos de calor realizado pelo INPE foi detectado o maior número de focos de calor nesse mesmo ano, totalizando 272 focos.

Ao relacionar essas informações com os dados do acumulado anual de precipitação (Figura 7, linha na cor azul), observa-se uma possível correlação entre os registros de queimadas, focos de calor e a precipitação. Notavelmente, o ano com o menor acumulado de precipitação (2020) mostrou um aumento proporcional no número de queimadas e focos de calor (572 registros de queimadas, 273 focos de calor e 1315 mm de precipitação), sugerindo uma possível relação entre períodos de seca e o aumento da ocorrência de eventos de queimadas.

Estudos realizados para avaliar a relação entre queimadas e precipitação mostraram resultados semelhantes. Por exemplo, Soares e Batista (2007) mostraram que a ocorrência de queimadas está diretamente associada a períodos de baixa pluviosidade, apresentando uma forte correlação entre grandes queimadas e longas estiagens. Caldas *et al.* (2014) investigaram essa relação no Parque Estadual do Mirador, localizado no estado do Maranhão, e constataram uma maior incidência de focos de queimadas nos anos com menores volumes de precipitação.

A diminuição do número de registros de queimadas observadas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá em 2021 e 2022 pode estar associado às medidas adotadas pela Prefeitura Municipal de Itajubá. De acordo com ITAJUBÁ (2021), o Decreto 8430 estabelecido em maio de 2021 proíbe o uso de qualquer método de queimada, ainda que de forma controlada em todo o perímetro urbano e rural de Itajubá. O Decreto instituiu também o Comitê de Gerenciamento de Crise de Queimadas em Itajubá, com a realização de medidas para o controle de queimadas, especialmente durante o período de seca no município. Além de fazer cumprir as diretrizes contidas na Política Nacional do Meio Ambiente e no Decreto Federal n.º 2.661/98, o Comitê é responsável pelas atividades de diagnóstico, prevenção, monitoramento, controle, fiscalização, combate e educação ambiental, incentivando a participação da comunidade nas questões relacionadas ao uso do fogo.

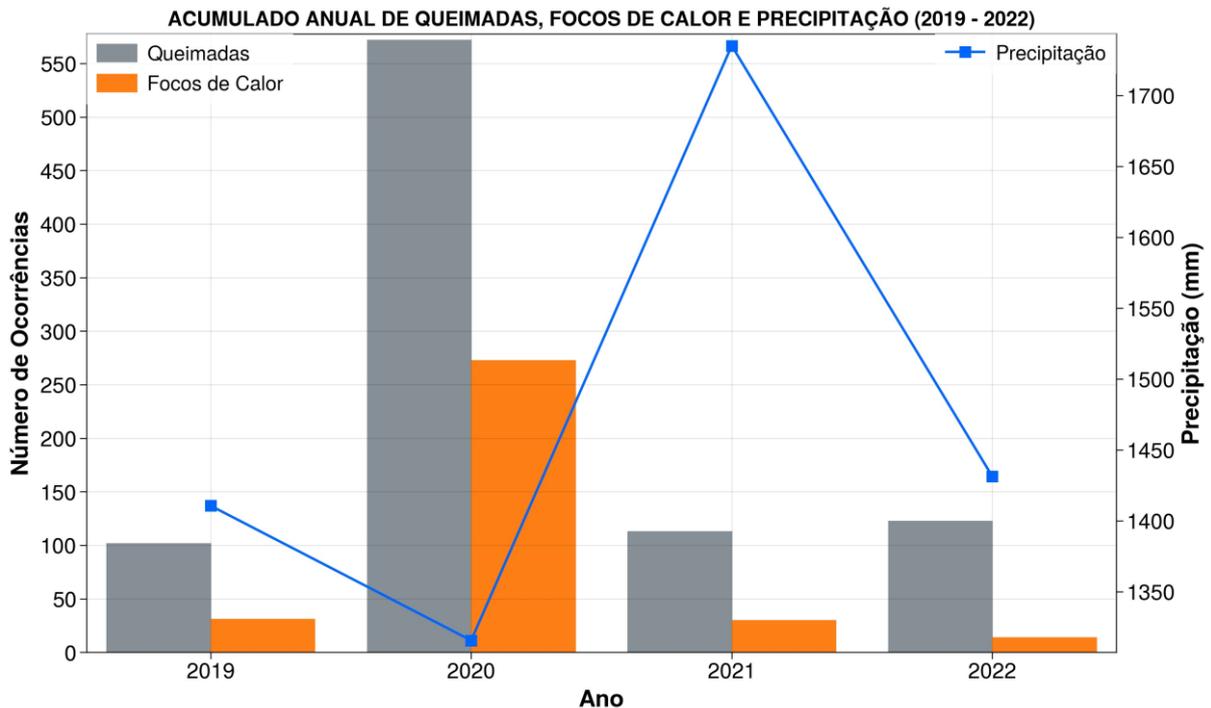


Figura 7 - Distribuição anual dos registros de queimadas (focos/ano) a partir das informações fornecidas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá (barras de cor cinza). Distribuição anual dos focos de calor (focos/ano) registrados em Itajubá a partir das informações dos satélites (Tabela 3) utilizados pelo INPE (barras de cor laranja). Acumulado de precipitação anual (mm/ano) registrada pela estação meteorológica automática da UNIFEI (linha com marcador de cor azul).

A Figura 8 apresenta o acumulado mensal dos registros de queimadas do 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá e dos focos de calor do programa de monitoramento do INPE ao longo dos quatro anos de estudo (isto é, somando as ocorrências de todos os anos). Os resultados revelam um aumento significativo no total de ocorrências de queimadas nos meses de agosto e setembro, ultrapassando 200 registros. De forma similar, é observado um aumento no total de focos de calor durante esses meses, sendo observados mais de 90 registros.

A Figura 9A apresenta a variação mensal acumulada dos registros de queimadas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM - Itajubá e municípios vizinhos durante os anos de 2019 a 2022. Observou-se um significativo aumento no número de queimadas nos meses de agosto e setembro, atingindo o pico em agosto com uma média de 60 registros. Paralelamente, o programa de monitoramento de focos de calor do INPE detectou um aumento no número de focos de calor durante os mesmos meses, atingindo o pico em setembro com uma média de aproximadamente 50 focos (Figura 9B).

Ao relacionar esses resultados com o acumulado mensal de precipitação (Figura 9C) observa-se uma correlação entre a sazonalidade das queimadas, focos de calor e a precipitação. Nos meses com maior pluviosidade (outubro a março, média mensal de precipitação > 100 mm), os registros de queimadas apresentam baixa incidência (média < 30 registros), assim como os focos de calor (média < 10 focos). Também pode ser observado que o período de maior ocorrência de queimadas (agosto) e focos de calor (setembro) se inicia até dois meses após o período de maior escassez de chuva (julho). Isso ocorre porque a redução da precipitação não corresponde a aumento imediato na ocorrência de queimadas em vegetação, pois o solo e o material combustível para queima continuam úmidos até um certo período.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os resultados encontrados por Santos *et al.* (2019). Esses autores identificaram que o período de máxima ocorrência de queimadas em Minas Gerais compreende os meses de julho a outubro, situando-se entre a estação seca e o início da chuvosa no sudeste do Brasil, sendo setembro o mês de maior incidência. Além disso, destacaram o papel relevante da precipitação na distribuição dos focos de calor no estado de Minas Gerais, embora reconheçam que outras variáveis também podem influenciar sua ocorrência.

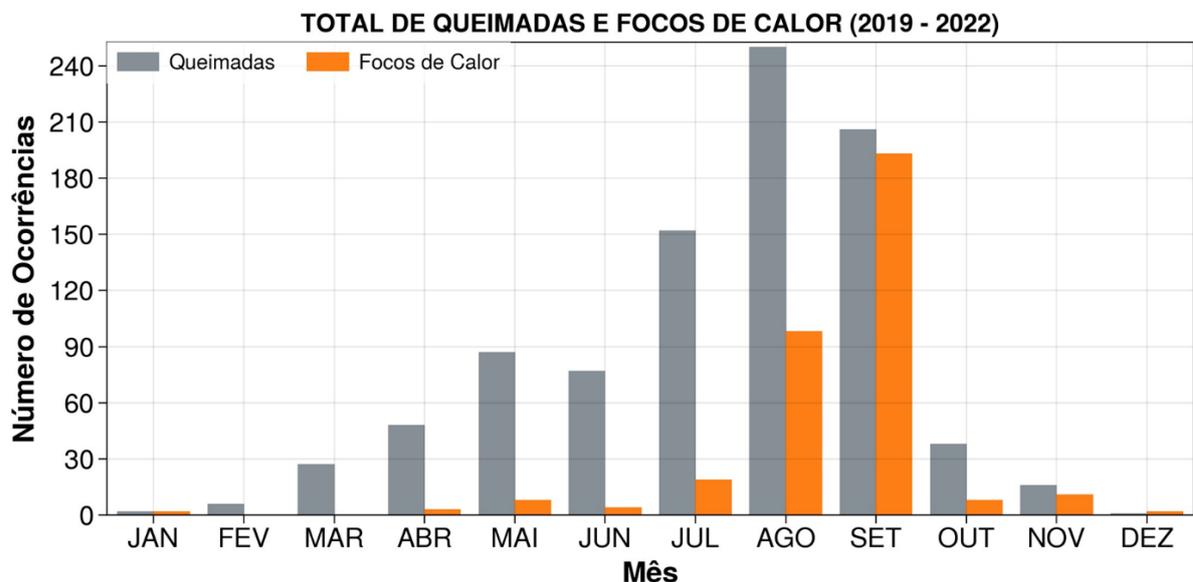


Figura 8 - Distribuição total do acumulado mensal (focos/mês) dos registros de queimadas a partir das informações fornecidas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá (barras de cor cinza) e focos de calor registrados a partir das informações dos satélites utilizados pelo INPE (barras de cor laranja) para Itajubá.

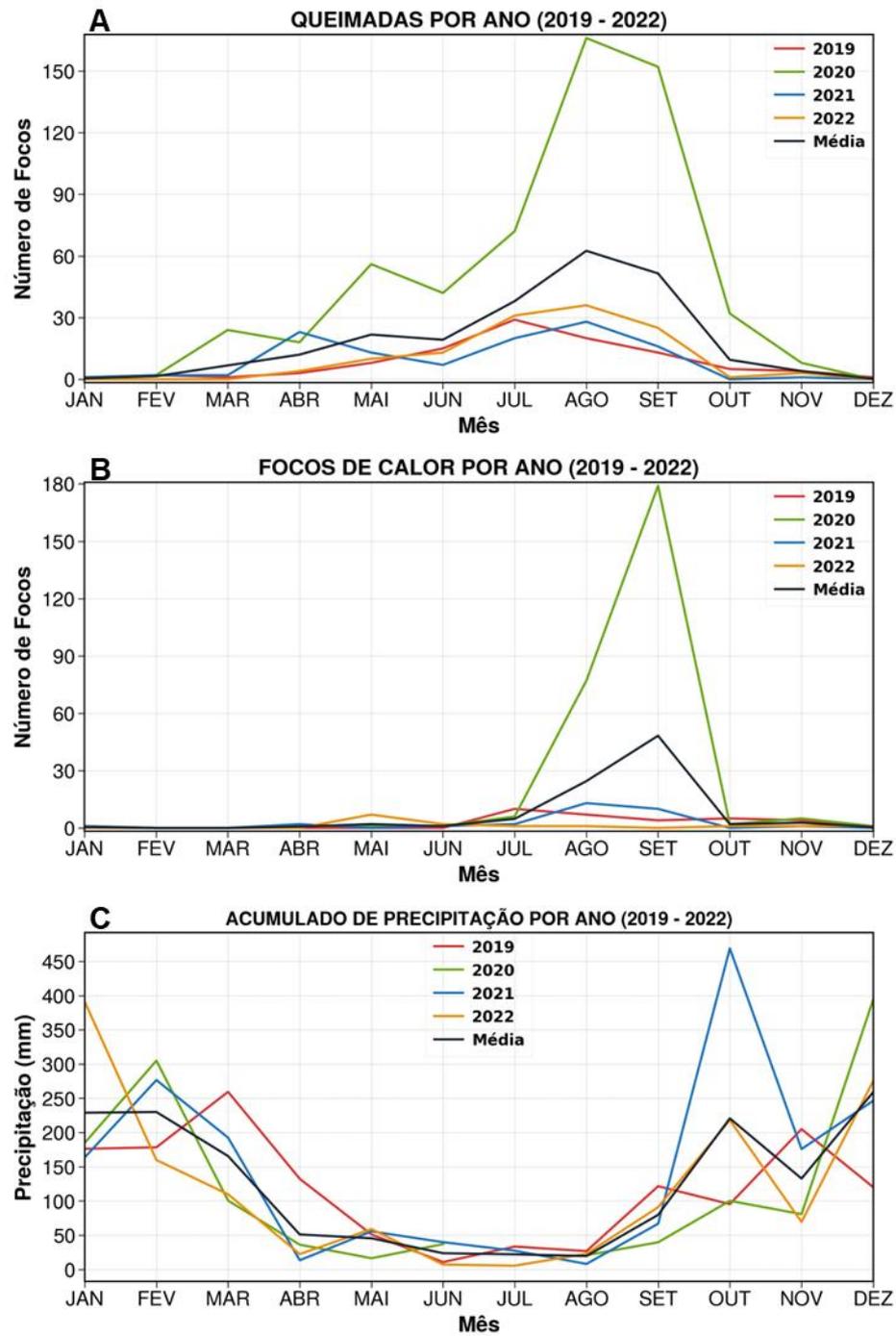
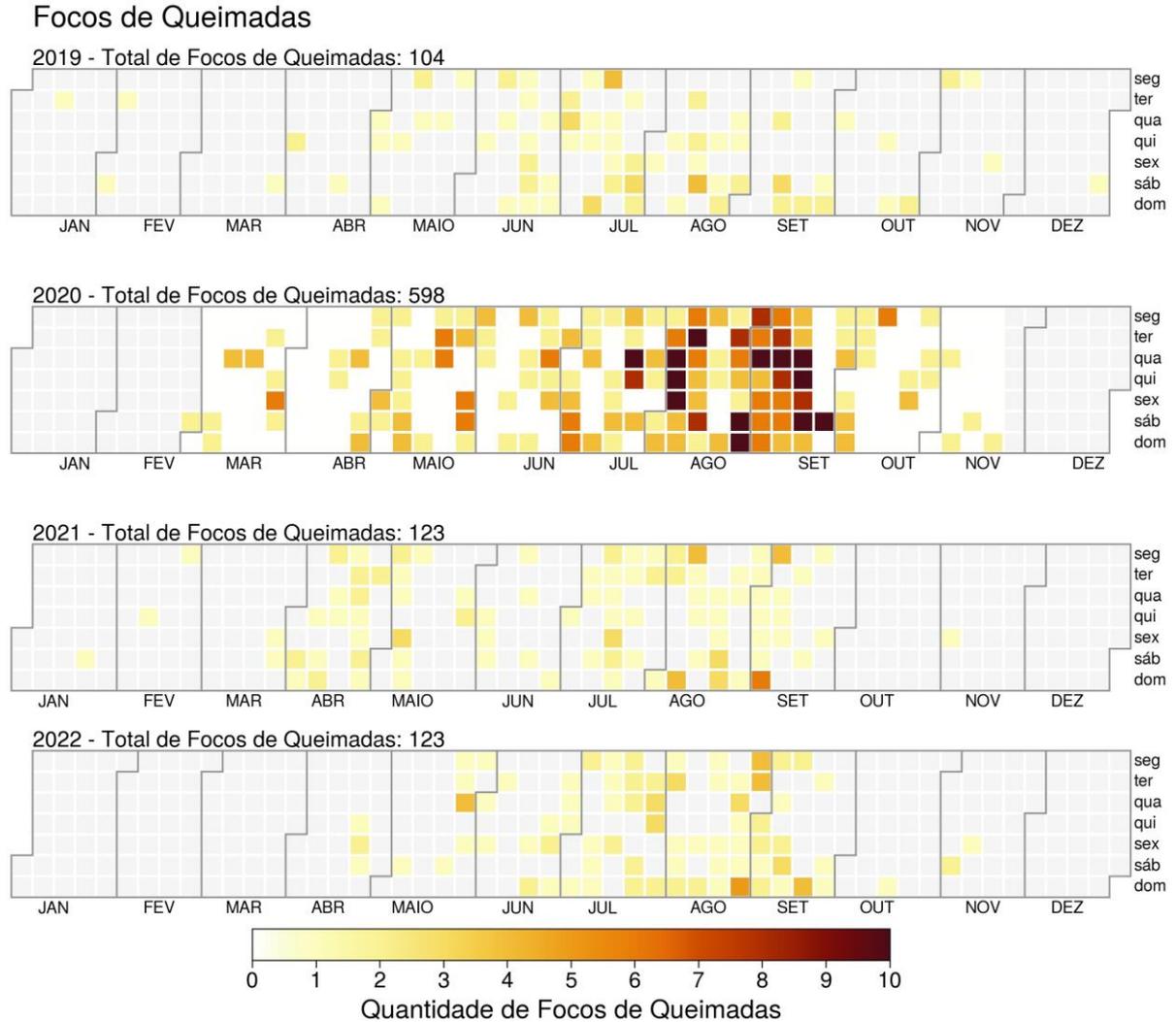


Figura 9 – (A) Distribuição mensal anual (focos/mês) dos registros de queimadas a partir das informações fornecidas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCia/IndBM – Itajubá, (B) focos de calor registrados em Itajubá a partir das informações dos satélites utilizados pelo INPE e (C) acumulado de precipitação mensal anual (mm/mês) registrada pela estação meteorológica automática da UNIFEI. As linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo.

Figura 10 – Variação anual do acumulado diário de focos de queimadas registradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.



Fonte: 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.

Em relação aos horários de maior incidência de queimadas monitoradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá observou-se uma alta frequência entre 13 e 16 horas local. O pico de ocorrência é observado às 15 horas, com uma média de aproximadamente 30 registros por hora (Figura 11A) e um total acumulado acima de 100 registros por hora (Figura 11C). Em contrapartida, o menor número de ocorrências ocorreu em torno das 04 horas, apresentando uma média aproximada de 2 registros por hora (Figura 11A) e um acumulado abaixo de 10 registros por hora (Figura 11C). Já para os registros de focos de calor registrados pelo INPE nota-se que o maior pico ocorreu as 13 horas, apresentando uma média de aproximadamente 30 focos de calor por hora (Figura 11B) e um acumulado superior a 120 focos de calor por hora (Figura 11C).

Analisando o período com o maior número de ocorrências de queimadas (15 horas) e focos de calor (13 horas), verifica-se um aumento relacionado ao horário do dia em que é observada a maior temperatura do dia. Em contraste, o período de menor ocorrência de queimadas (4 horas) está relacionada ao horário do dia que a superfície está próxima de registrar a menor temperatura do dia. Torres *et al.* (2010), em seu estudo sobre a relação entre variáveis ambientais e as ocorrências de incêndios em vegetação na região urbana do Município de Juiz de Fora, Minas Gerais, constatou que a maior ocorrência de incêndios em vegetação ocorre no período do dia em que a temperatura da superfície está mais quente. Por outro lado, a menor ocorrência de incêndios em vegetação ocorre no período do dia em que a temperatura da superfície está mais fria. Ressalta-se também que o programa de satélites do INPE, utiliza satélites polares que possuem resolução temporal de 12 horas, sendo que para o local de estudo, os satélites coletam as informações dos focos de calor, próximo ao início da madrugada (0 e 2 horas da manhã) e no início da tarde (12 e 14 horas da tarde), consequentemente os registros de focos de calor apresentam picos durante esses horários do dia.

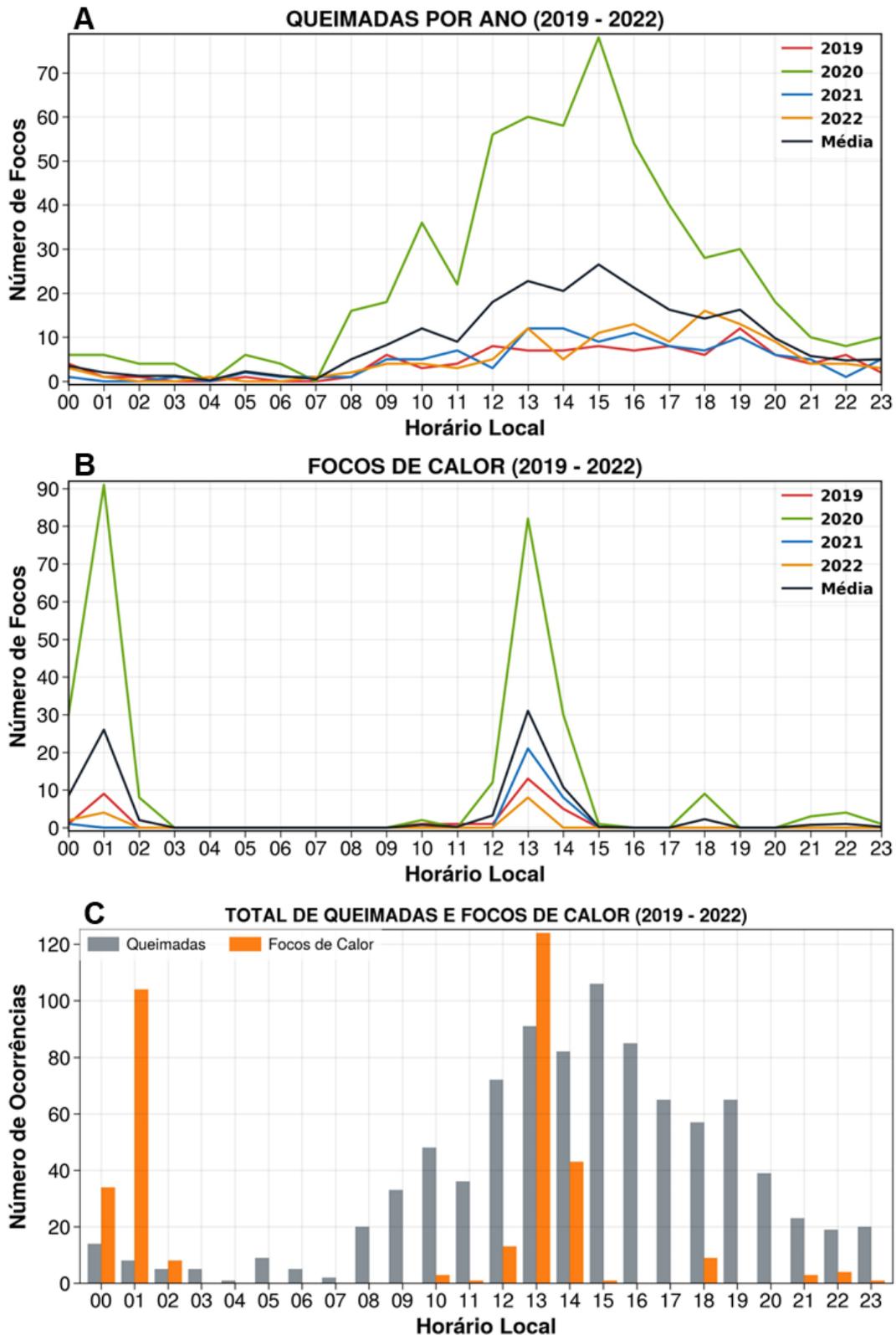


Figura 11 – (A) Distribuição horária (focos/hora) dos registros de queimadas fornecidas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá, (B) focos de calor monitorados através dos satélites utilizados pelo INPE e acumulado total de queimadas (barras de cor cinza) e de focos de calor (barras de cor laranja) para cada ano de estudo. Nas Figuras 10A-B as linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo.

A relação entre queimadas e focos de calor, mostrou que há uma subestimativa nos registros de focos de calor em comparação aos registros de queimadas (Figuras 7, 8 e 11). Isso ocorreu porque nem todas os focos de calor são detectados por satélites, devido a algumas condições que impedem ou prejudicam muito a detecção dos focos de calor. De acordo com o INPE (2023b), essas limitações incluem frentes de fogo menores que 1 x 30 m; fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores; nuvens cobrindo a região; queimada de pequena duração, ocorrendo entre o horário das imagens disponíveis e fogo em uma encosta de montanha. Além disso, a detecção de focos de calor é limitada a resolução horizontal dos sensores dos satélites, onde um foco de calor pode estar associado a vários focos de queimadas. A relação foco de calor e queimada não é direta nas imagens de satélite. Um foco de calor indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (píxel), que varia de 375 m x 375 m até 5 km x 4 km, dependendo do satélite. Neste píxel pode haver uma ou várias frentes de fogo ativo distintas que a indicação será de um único foco.

A tabela 5 apresenta o número de observações de queimadas realizadas pelo corpo de bombeiros que tiveram registros de focos de calor.

Tabela 5 – Relação dos focos de calor que detectaram focos de queimadas.

Focos de calor	Focos de queimadas
14	1
11	2
2	4
1	5
2	6
2	7
2	10
2	12
2	13
4	14
2	18
2	19
Total = 46	Total = 111

Fonte: Autoria própria.

4.3 Distribuição espacial-temporal das concentrações de CO, PM_{2,5} e umidade do solo

4.3.1 Distribuição mensal das concentrações de CO, PM_{2,5} e umidade do solo

A utilização de satélites para mapear as concentrações de PM_{2,5} e CO na atmosfera é essencial para o monitoramento de queimadas, já que durante eventos de queimadas há a liberação de CO e PM_{2,5} na atmosfera. Ao analisar a distribuição média mensal da concentração de CO (Figura 12A) e PM_{2,5} (Figura 12B), observa-se que ambas as concentrações apresentam pico no mês de setembro, com valores médios superiores a 70 DU e 16 µg/m³, respectivamente. Esse pico em setembro pode estar associado às maiores frequências de queimadas registradas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá, juntamente com os focos de calor identificados pelos satélites de monitoramento do INPE (Figura 8).

A partir do mês de outubro é observado um decréscimo das concentrações de CO e PM_{2,5}. Esse efeito é atribuído a alguns fatores como precipitação e umidade do solo. Durante a estação chuvosa em Itajubá (de outubro a março) são observados acumulados de precipitação acima de 100 mm/mês (Figura 9C), que auxilia no aumento da disponibilidade de água no solo (Figura 12C), e dificulta a queima de material combustível como a biomassa. Além disso, a diminuição da concentração de CO e PM_{2,5} na atmosfera, é justificada pela deposição dessas partículas devido à precipitação. Estudos realizados para regiões tropicais mostraram resultados semelhantes. Por exemplo, Artaxo *et al.* (2001) analisaram as concentrações de CO e PM_{2,5} na atmosfera durante as estações seca e úmida no estado de Rondônia. Os resultados indicaram que durante a estação úmida, as concentrações de CO e PM_{2,5} foram significativamente mais baixas em comparação com a estação seca, na qual foram observadas concentrações mais elevadas desses poluentes.

A relação entre as variáveis ambientais, CO, PM_{2,5} e queimadas já foram estudadas em várias partes do mundo e reforçam os resultados encontrados no presente estudo. De acordo Galanter *et al.* (2000) a queima de biomassa tem o maior impacto global sobre as contribuições de CO na atmosfera, contribuindo de 15 a 30% em todo o CO troposférico global. Soares (1985) avaliou que material combustível com alto teor de umidade não queima. Isso se deve à “umidade de extinção”, dada pelo conteúdo de umidade entre 25 e 30% do material combustível. Dessa forma, a umidade acima desse limite impede a combustão e a propagação de queimadas.

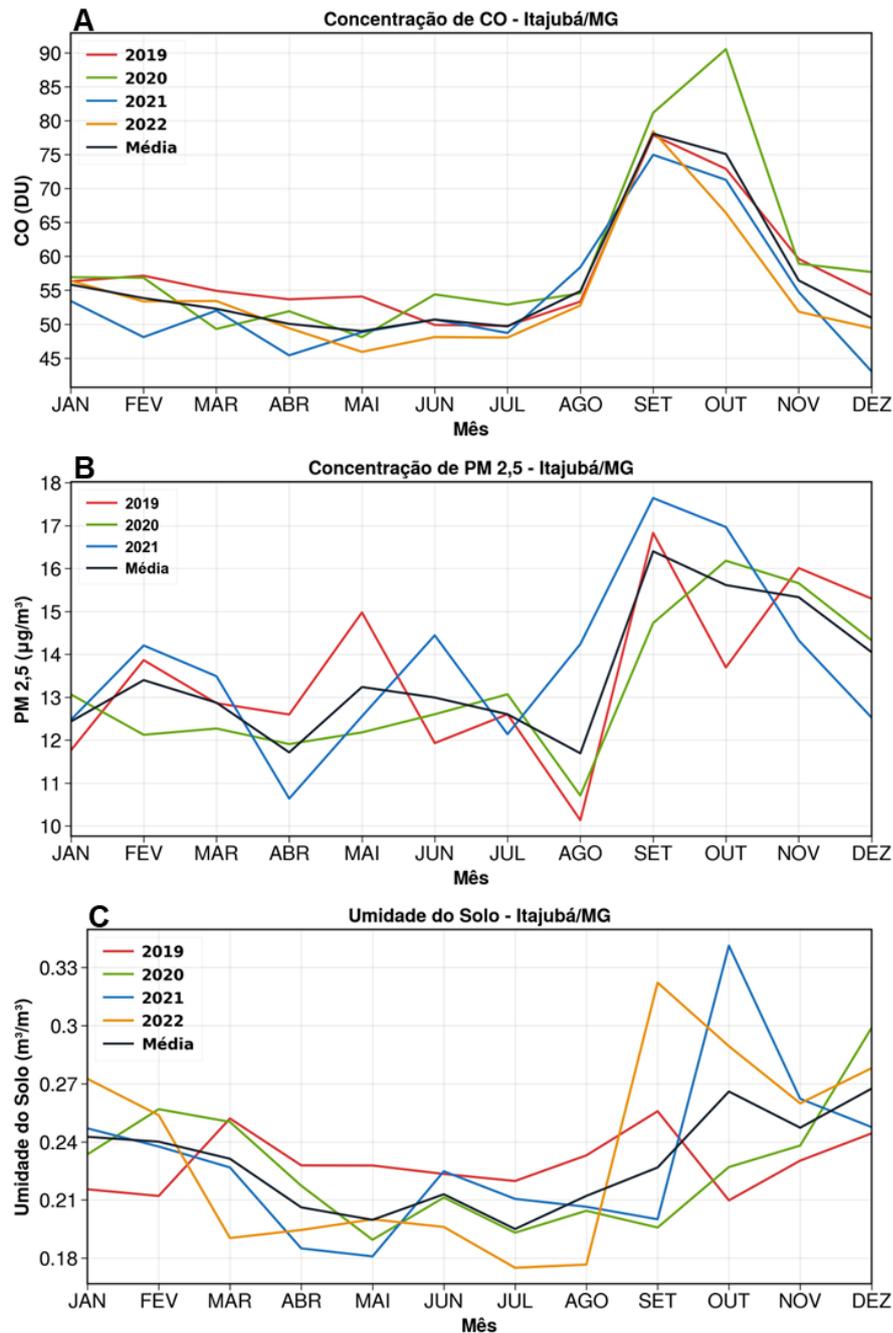


Figura 12 – (A) Distribuição média mensal da concentração de CO (DU) proveniente do sensor TROPOMI do satélite S5P, PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) do Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington e (C) umidade do solo (m^3/m^3) do produto *soil_moisture_am* do conjunto de dados *Soil moisture radiometer enhanced* sobre Itajubá. As linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo (Figuras 8A, 8B e 8C).

4.3.2 Distribuição espacial das concentrações de CO, PM_{2,5} e umidade do solo

As Figuras 13 e 14 apresentam a distribuição espacial média mensal de CO e PM_{2,5}, respectivamente, para o município de Itajubá. Pode ser observado uma correlação entre as concentrações dessas partículas, onde no fim do período seco na

região (setembro) são observadas as maiores concentrações dessas partículas na atmosfera, onde as concentrações de CO e PM_{2,5} foram superiores a 70 (DU) e 15 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente. Após o pico em setembro, durante o início do período úmido (outubro a dezembro), ocorre uma redução gradativa na concentração dessas partículas na região.

As queimadas e os incêndios florestais compõem a principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos em várias regiões do Brasil. A queima de biomassa decorrente de atividades antrópicas, além de liberarem GEE, liberam também grandes quantidades de PM_{2,5} (WRI BRASIL, 2021). Estudos realizados no Brasil, indicam que as maiores (menores) concentrações de PM_{2,5} e CO na atmosfera são observadas durante a estação seca (úmida), sendo essas variações causadas principalmente pelo aumento do número de focos de queimadas (SILVA *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2020; ALMEIDA; GUIMARÃES, 2022).

A Figura 15 apresenta a distribuição espacial média de umidade do solo (m^3/m^3) para o município de Itajubá. Entre os meses de abril a setembro observa-se os menores valores de umidade no solo ($<0,23 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Já entre os meses de outubro a março são observados os maiores valores de umidade no solo ($>0,23 \text{ m}^3/\text{m}^3$). Dessa forma, pode ser observado o caráter sazonal da disponibilidade de água no solo. Durante o período seco, há uma redução significativa na umidade do solo, aumentando assim a vulnerabilidade da superfície e o risco de queimadas. Por outro lado, no período úmido o aumento das chuvas eleva a umidade do solo, reduzindo consideravelmente a vulnerabilidade da superfície e reduzindo os eventos de queimadas.

Segundo Nepstad *et al.* (2007) a ocorrência de queimadas está relacionada a vários fatores, sendo uma delas a precipitação. A precipitação além de aumentar a umidade do solo, também aumenta o teor de umidade do material combustível, diminuindo a possibilidade de incêndios na vegetação, por outro lado, a falta de chuvas durante uma seca prolongada, diminui o teor de umidade do solo e do material combustível, tornando-o mais suscetível ao fogo.

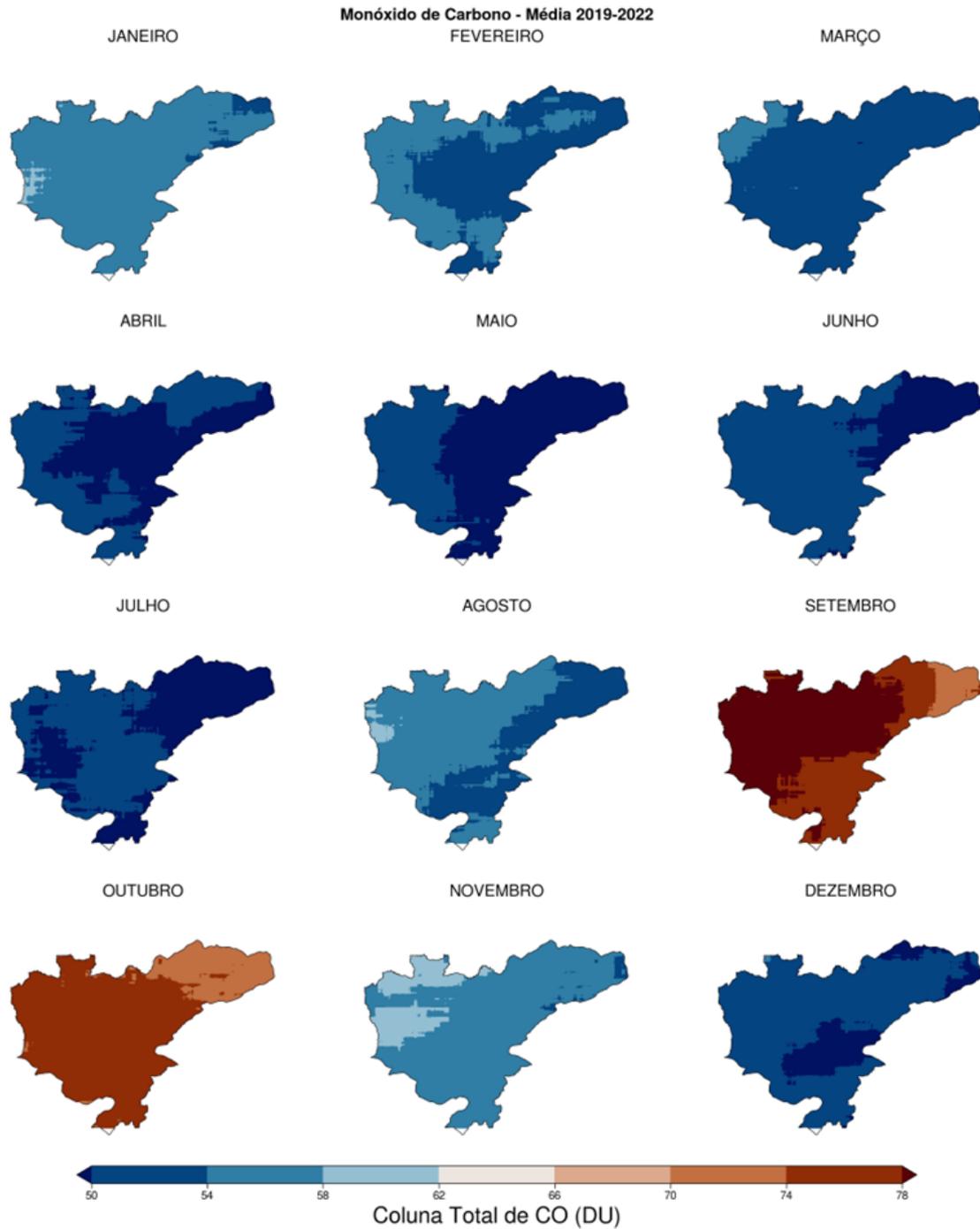


Figura 13 - Distribuição espacial da concentração média mensal de Monóxido de CO (Unidades Dobson-DU) em Itajubá proveniente do sensor TROPOMI do satélite S5P.

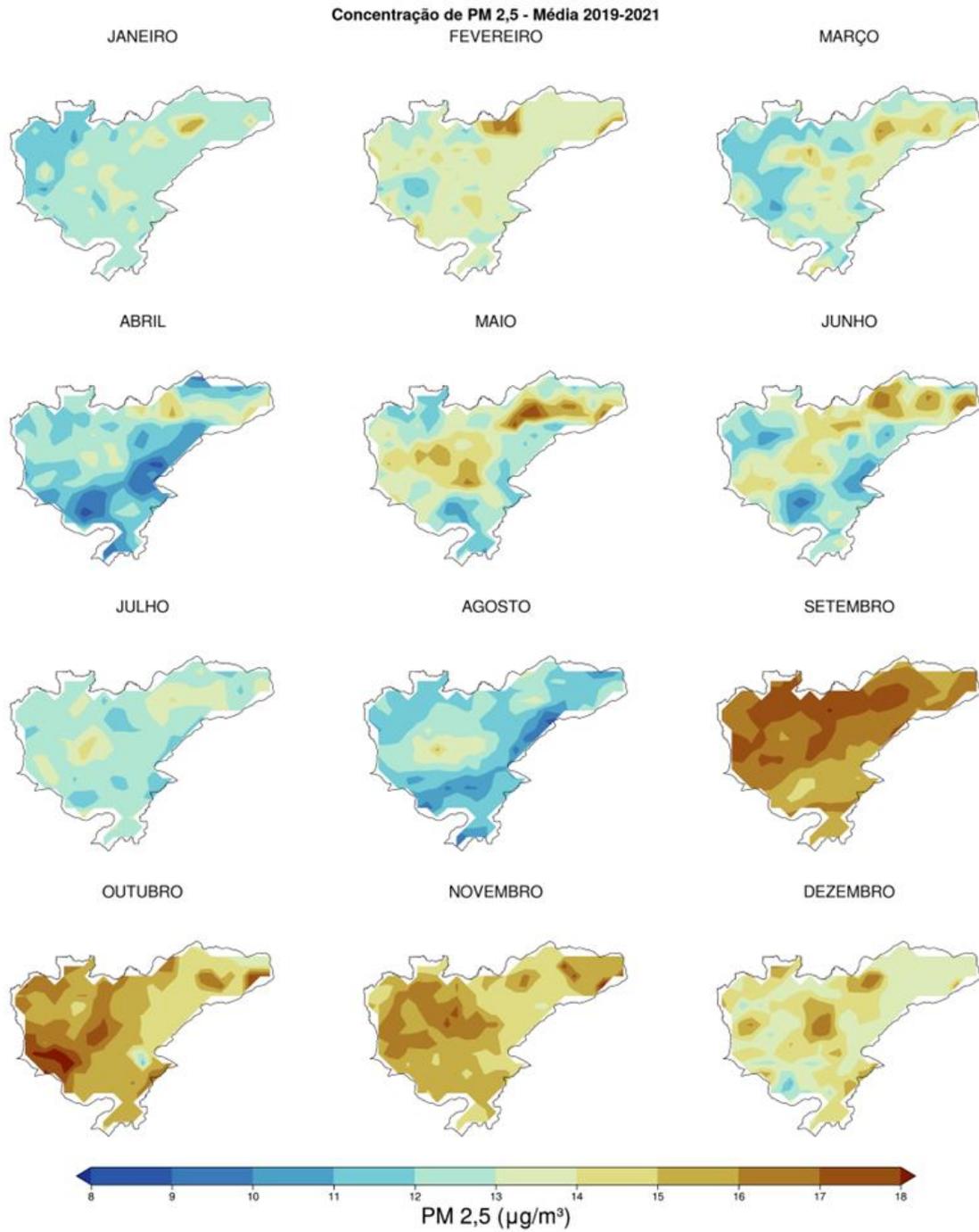


Figura 14 - Distribuição espacial da concentração média mensal de PM_{2,5} (µg/m³) em Itajubá proveniente do Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington.

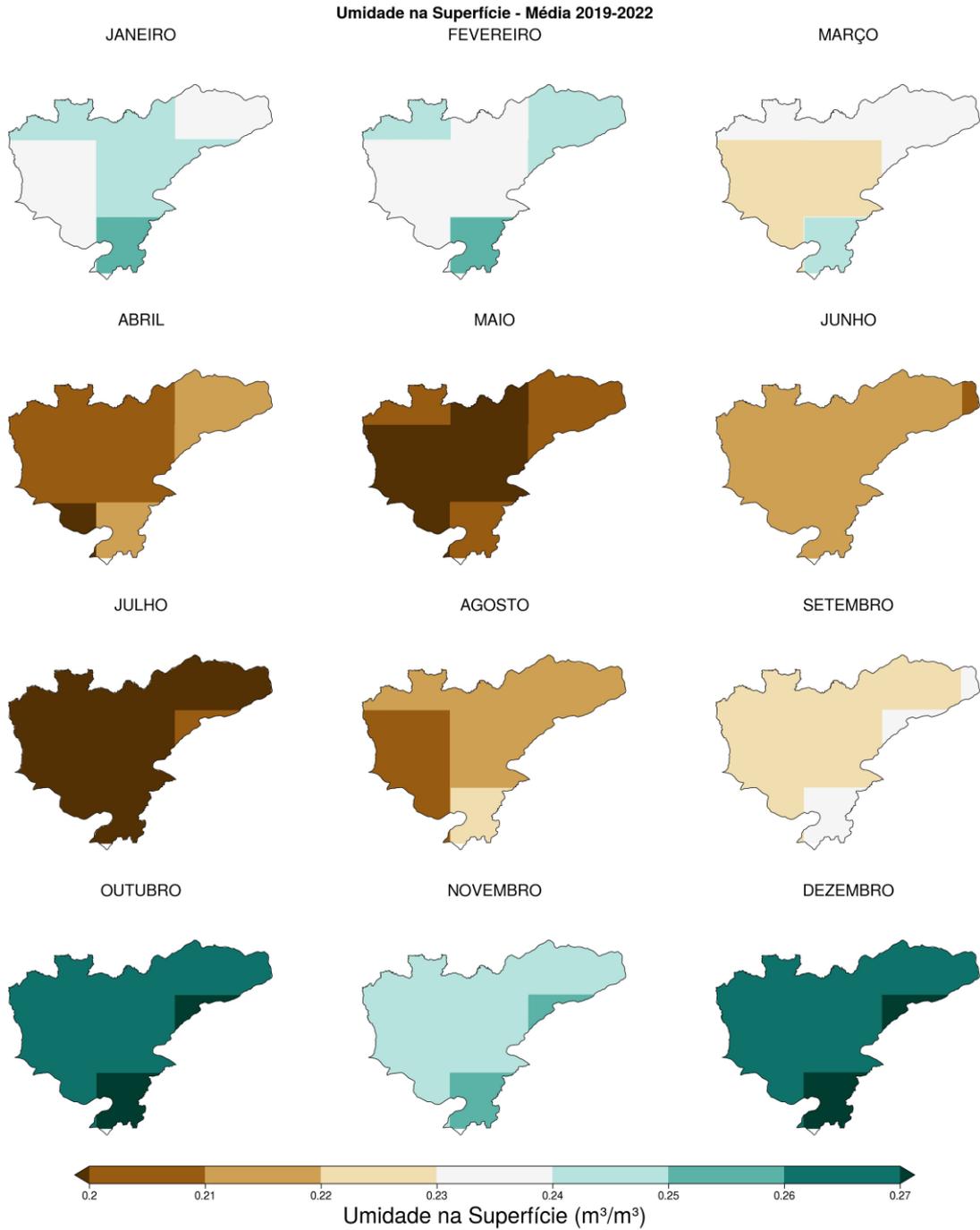


Figura 15 - Distribuição espacial média mensal de umidade do solo (m^3/m^3) em Itajubá proveniente do produto *soil_moisture_am* do conjunto de dados *Soil moisture radiometer Enhanced*.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou as queimadas e seus efeitos para a cidade de Itajubá durante o período de 2019 a 2022. Esse estudo é pioneiro no município de Itajubá e mostra-se de grande relevância para formulação de políticas públicas, pois os resultados obtidos trazem informações importantes para direcionar esforços em fiscalização, repressão a crimes ambientais, educação ambiental e programas de conservação.

No total foram detectados 948 focos de queimadas (registros provenientes do Corpo de Bombeiros de Itajubá) e 348 focos de calor (registros provenientes de satélites meteorológicos) entre os anos de 2019 e 2022, respectivamente. Os bairros do município de Itajubá com maior incidência de focos de queimadas durante o período de estudo foram Pinheirinho (68 focos), Nações (39 focos), Medicina (69 focos), Anhumas (35 focos) e Novo Horizonte (35 focos). O ano de 2020 se destacou com 273 focos de calor e 572 focos de queimadas, coincidindo com o menor acumulado de precipitação (1315 mm) no mesmo ano.

Com relação a natureza principal de origem das queimadas, pode-se dizer que as origens das queimadas mais recorrente são os incêndios em lote vago (área urbana) (O04012), incêndios em produção agrícola / pasto (O04003) e incêndios em área urbana não protegida (O04011). O número de focos registrados para cada categoria foi de 350, 250 e 100, respectivamente. De maneira geral, as ocorrências de focos de queimadas têm origem em áreas urbanas (O04012 e O04011).

A distribuição mensal dos focos de calor e de queimadas mostrou que o período crítico em Itajubá ocorre entre os meses de agosto e setembro. Em agosto, os focos de queimadas atingem o pico, ultrapassando 240 registros, enquanto em setembro, os focos de calor atingem o pico, superando 200 registros

Em relação a distribuição horária dos focos de calor e de queimadas, foi encontrado que o pico de focos de calor ocorre às 13 horas, enquanto o pico de focos de queimadas acontece às 15 horas. Em contrapartida, a menor ocorrência de focos de calor e queimadas ocorre próximo às 4 horas.

A relação entre queimadas e focos de calor, mostrou que há uma subestimativa nos registros de focos de calor (estimativas por satélites meteorológicos) em comparação aos registros de queimadas (observações). Isso ocorreu porque nem todos os focos de calor são detectados por satélites. Fatores limitantes como a extensão das frentes de fogo, nebulosidade, topografia, vegetação, duração das

queimadas e resolução horizontal dos sensores de satélites impedem a detecção de todos os focos de calor.

Quanto a distribuição média mensal de CO e PM_{2,5}, foi observado que o pico ocorre em setembro, com valores ultrapassando 70 DU e 16 µg/m³ para CO e PM_{2,5}, respectivamente. Após o pico, durante o início do período úmido que ocorre entre os meses de outubro a dezembro, ocorreu uma redução gradativa na concentração dessas partículas na região.

A relação entre as variáveis ambientais e eventos de focos de calor e de queimadas, mostrou uma certa correlação entre elas. Os meses com maiores acumulados de precipitação e umidade do solo (outubro a março), correspondem ao período com menores registros de focos de calor e de queimadas. Já o pico de registros de focos de calor e de queimadas ocorrem logo após período de menores acumulados de precipitação e de umidade do solo (julho).

Esse estudo pode ser expandido com a inclusão de novos dados de ocorrências de queimadas registradas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá para o ano de 2023 em diante. Dessa forma, poderão ser realizados comparativos do tempo de duração dos focos de calor dos satélites com o tempo de atuação descrito nos relatórios do 2ºPel/1ªCia/7ªCialndBM – Itajubá, além disso, também poderão ser inseridas informações das ocorrências W08000 (demanda reprimida) e compará-las com os focos de calor dos satélites.

O estudo é muito interessante e de grande interesse para o município de Itajubá. A criação de uma ferramenta dedicada a alertas sobre ocorrências de focos de calor tornaria possível informar gestores e instituições locais sobre a potencial incidência de queimadas, proporcionando um meio único de acompanhamento e prevenção. Ao incrementar mais informações, poderão ser realizadas melhorias nas avaliações das ocorrências desses eventos no município. Adicionalmente seria interessante estudar a relação de queimadas com outros gases, como o ozônio e óxido nítrico.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. P. de; GUIMARÃES, C. L. da S.; HACON, S.; CARMO, C. N. Impactos das queimadas em época de estiagem sobre a qualidade do ar de Porto Velho (Rondônia) e seus possíveis efeitos na saúde. **Revista Brasileira do Meio Ambiente**, v. 10, n.1, p. 124-136, 2022.

ANDRADE, V. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; CARMO, C. N. Influência do material particulado (PM2.5) de queimadas e variáveis meteorológicas na morbidade respiratória de crianças em Manaus, AM. **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 744-758, 2012.

Artaxo, P. *et al.* (2002). Physical and chemical properties of aerosol in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia. São Paulo. **Journal of Geophysical Research**. v. 107, n. D20, p. 1-49.

Arbex, M. A., Cançado, J. E. D., Pereira, L. A. A., Braga, A. L. F., & Saldiva, P. H. do N. (2004). Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro De Pneumologia**, v. 30, n. 2, p. 158-172.

ARAÚJO, H. J. B.; OLIVEIRA, L. C.; VASCONCELOS, S. S.; CORREIA, M. F. Danos provocados pelo fogo sobre a vegetação natural em uma floresta primária no estado do Acre, Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 297-308, 2013.

Assis, S. S. de.; Lucas, F. da M. Queimadas urbanas em Ituiutaba (MG). **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, Uberaba, p. 32-40, v. 4, n. 1, 2018.

Bodah, *et al.* (2022). Sentinel-5p Tropomi Satellite Application for NO₂ and CO Studies Aiming At Environmental Valuation. **Journal of cleaner production**, v. 357, p. 131960.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Queimadas e incêndios florestais**: alerta de risco sanitário e recomendações para a população. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2020. 10 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Queimadas e incêndios florestais**: atuação da vigilância em saúde ambiental. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021. 21 p.

CAPECHE, C. L. Impactos das queimadas na qualidade do solo: degradação ambiental e manejo e conservação do solo e água. In: **Encontro Científico do Parque**

Estadual dos Três Picos, 2., 2012, Cachoeiras de Macacu, RJ. Resumos... Rio de Janeiro: INEA, 2012.

Caldas, J. M.; Silva, F. B.; Silva Junior, C. H. L. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, estado do Maranhão, Brasil. In: XIV SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENT WORLD CONGRESS. **Anais...** Cubatão: COPEC, 2014.

CRISPIM, S. M. A. **Queimadas na área urbana e no Pantanal**. Corumbá, Embrapa, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/883792/1/FOL156.pdf>>. Acesso em: jul. 2023.

DONKELAAR, A. van. *et al.* (2021). Monthly Global Estimates of Fine Particulate Matter and Their Uncertainty. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 22, p. 15287-15300, 2021.

França, D. A.; Longo, K. M.; Neto, T. G. S.; Santos, J. C.; Freitas, S. R.; Rudorff, B. F. T.; Cortez, E. V.; Anselmo, E. & Carvalho Jr., J. A. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180, 2012.

Freitas, S. R.; Longo, K. M.; Dias, M. A. F. S.; Dias, P. L. S.; Chatfield, R.; Prins, E.; Artaxo, P.; Grell, G. A.; & Recuero, F. S. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. **Environmental Fluid Mechanics**, v. 5, p. 135-167, 2005.

Galanter, M.; Levi, H.; Carmichael, G. R., (2000). Impacts of biomass burning on tropospheric CO, NO_x, and O₃. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n. D5, p. 6633-6653.

European Space Agency - ESA. Sentinel Online. Disponível em: <[https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5#:~:text=The%20Sentinel%2D5%20mission%20consists,3%20\(2305%2D2385nm\)](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5#:~:text=The%20Sentinel%2D5%20mission%20consists,3%20(2305%2D2385nm))>. Acesso em: set. 2023.

GOOGLE EARTH ENGINE – GEE. 2023a. Earth Engine Data Catalog. Disponível em: <<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>>. Acesso em: set. 2023.

GOOGLE EARTH ENGINE – GEE. 2023b. Earth Engine Data Catalog. Sentinel-5P OFFL CO: Offline Carbon Monoxide. Disponível em:

<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFFL_L3_CO#description>. Acesso em: mai. 2023.

Gualteros, J.; Hernández, D.; Upegui, E. Monitoreo de co usando sentinel-5p y gee: caso Cundinamarca en tiempos de covid-19 **Tecnología, Investigación y Academia**. Bogotá, Colômbia, v. 8, n. 3, p. 71-84, 2020.

IBGE. 2023a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em: mai. 2023.

IBGE. 2023b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>>. Acesso em: mai. 2023.

INPE. 2023a. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), BD Queimadas - Banco de queimadas. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: mai. 2023.

INPE. 2023b. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Perguntas frequentes. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>>. Acesso em: out. 2023.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2023. Incêndios florestais. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/aceso-a-informacao/perguntas-frequentes/incendios-florestais>>. Acesso em: ago. 2023.

ITAJUBÁ. Decreto nº 8430, de 7 de maio de 2021. **Lex**: institui o Comitê de Gerenciamento de Crise de Queimadas do Município de Itajubá-MG e dá outras providências. Itajubá, Volume, Número de publicação, p. 4, 2021. Suplemento.

JANG, E. *et al.* Detection and Monitoring of Forest Fires Using Himawari-8 Geostationary Satellite Data in South Korea. **Remote Sensing**. Ulsan, Korea, v. 11, n. 3, 23 p., jan. 2019.

JUNIOR, R. A. M.; JÚNIOR, R. S. da S.; COELHO, S. M. S. da C.; MEDINA, B. L. Estudo da dispersão de monóxido de carbono emitido por queimadas na Amazônia legal em 19 agosto de 2010 baseado em: simulações do modelo WRF-CHEM e Sensoriamento Remoto. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 145-151, 2015.

LANGMANN, B.; DUNCAN, B.; TEXTOR, C.; TRENTMANN, J.; van der WERF, G. R. Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 1, p. 107-116, 2009.

LAUK, C. & ERB, K. H. 2009. Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: Global patterns and processes. **Ecological Economics**, v. 69, n. 2, p. 301-309.

Lima, I. C. 2018. **Monitoramento dos focos de queimadas nos biomas Amazônia e Cerrado nas estações seca e chuvosa de 2017**. Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Trabalho de Conclusão de Curso, 37 p.

LONGO, M. Ocorrências de fogo em lavoura somam 71 em Goiás. **O Popular**, 2022. Disponível em: <<https://opopular.com.br/cidades/ocorrencias-de-fogo-em-lavoura-somam-71-em-goias-1.2515510>>. Acesso em: ago. 2023.

MapBiomias. 2023. MAPBIOMAS BRASIL. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: mai. 2023.

Marlon, J. *et al.* 2008. Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. **Nature Geoscience**, v. 1, n. 10, p. 697-701.

MARTINS, V.; MOREIRA, D. Agricultor relata prejuízo de cerca de R\$ 1,5 milhão após incêndio destruir lavoura na Chapada dos Veadeiros; vídeo. **G1**, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2021/09/20/agricultor-relata-prejuizo-de-cerca-de-r-15-milhao-apos-incendio-destruir-lavoura-na-chapada-dos-veadeiros-video.ghtml>>. Acesso em: ago. 2023.

MASCARENHAS, M. D. M; VIEIRA, L. C; LANZIERI, T. M; LEAL, A. P. P. R; DUARTE, A. F; HATCH, A. L, (2008). Poluição atmosférica devido a queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil. **J Bras Pneumol**, v. 34, n. 1, p. 42-46.

Mesquita, A. G. G. Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade Acreana. **Revista Ramal de Ideias**, v.1, n.1, 2008.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Earthdata Search. 2023. Disponível em: <<https://dwtkns.com/srtm30m/>>. Acesso em: set. 2023.

Nepstad, D. C., Tohver, I. M., Moutinho, P., Cardinot, G. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. **Ecology**, v. 88, n. 9, p. 2259–2269, 2007.

O'NEILL, P. E. *et al.* (2021). **SMAP Enhanced L3 Radiometer Global and Polar Grid Daily 9 km EASE-Grid Soil Moisture, Version 5 [SPL3SMP_E]**. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. Disponível em: <https://nsidc.org/sites/default/files/spl3smp_e-v005-userguide.pdf>. Acesso em: ago. 2023.

Pereira, A. A; Barros, D. A. de; Pereira, J. A. A; Júnior, F. W. A; Morelli, F; Scolforo, J, R, S. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. Brasil. **CERNE**, v. 20, n. 3, p. 459-469, 2014.

Pereira, R. G. 2020. **Relação entre os casos de internações por crises respiratórias e focos de calor**. Curso de Graduação em Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Trabalho de Conclusão de Curso, 32 p.

PRUNET, P.; LEZEAUX, O.; CAMY-PEYRET, C.; THEVENON, H. Analysis of the NO₂ tropospheric product from S5P TROPOMI for monitoring pollution at city scale. **City and Environment Interactions**, v. 8, p. 100051, 2021.

REBOITA, M. S.; CORRÊA, M. de P.; RODRIGUES, M.; SILVA, J. P. R. da. Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 7, p. 2312-2324, 2016.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 206-226, 2015.

RIBEIRO, O. I. *et al.* 2020. Impact of biomass burning on a metropolitan area in the Amazon during the 2015 El Niño: The enhancement of carbon monoxide and ~ levoglucosan concentrations. **Environmental Pollution**, v. 260, n. 114029, 8 p.

Rocha, M. I. S.; Nascimento, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.14, n. 3, p. 1220-1235, 2021.

SANTANA, N. C. **Monitoramento de queimadas no Sudoeste do Pará, a partir de séries temporais do sensor MODIS. 2016.** 51f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

Santos, B. A. *et al.* 2019. Distribuição Espaço-Temporal dos Focos de Calor no Estado de Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, p. 64-84.

SANTOS, M. J. M. dos. **Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens.** 74f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

SILVA, A. M. C. da *et al.* 2010. Material particulado (PM2.5) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira . **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, n. 2, p. 337-351.

SILVESTRE, P. Incêndio atinge fazendas de MT e prejuízos podem superar R\$ 2 milhões. **Canal Rural**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/go/goias/noticia/2021/09/20/agricultor-relata-prejuizo-de-cerca-de-r-15-milhao-apos-incendio-destruir-lavoura-na-chapada-dos-veadeiros-video.ghtml>>. Acesso em: ago. 2023.

Soares, R. V.; Batista, A. C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo.** Curitiba, 2007. 264 p.

Soares, R. V. **Incêndios florestais: controle e uso do fogo.** Curitiba, 1985. 213 p.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 34, n. 2, p. 297-393, 2010.

Wrangham R. W.; Jones J. H.; Laden G.; Pilbeam D.; Conklin-Brittain N. L. 1999. The raw and the stolen: Cooking and the ecology of human origins. **Current Anthropology**, v. 40, n. 5, p. 567-588.

WRI BRASIL. (2021). **O estado da qualidade do ar no Brasil.** Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/wri-o-estado-da_qualidade-do-ar-no-brasil.pdf>. Acesso em: ago. 2023.

WWF. **Fires, Forests and the Future:** A crisis raging out of control? Boston, Estado Unidos, 2022.