

MAPEAMENTO DE QUEIMADAS COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DE ÁREAS PROTEGIDAS NO CERRADO: O CASO DO PARQUE NACIONAL DAS SEMPRE-VIVAS (MG - BRASIL)

Shayene Bernardo Dutra

Universidade de São Paulo – USP
Departamento de Geografia Física, São Paulo, SP, Brasil
shayenedutra@usp.br

Francielle da Silva Cardozo

Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ
Departamento de Geociências, São João del-Rei, MG, Brasil
franciellecardozo@ufsj.edu.br

Gabriel Pereira

Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ
Departamento de Geociências, São João del-Rei, MG, Brasil
pereira@ufsj.edu.br

Guilherme Augusto Verola Mataveli

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, São José dos Campos, SP, Brasil
mataveli@alumni.usp.br

Gustavo Domingos Zanin

Universidade de São Paulo – USP
Departamento de Geografia Física, São Paulo, SP, Brasil
zanin@ufsj.edu.br

RESUMO

No Cerrado, a ocorrência de queimadas é alta e frequente devido à supressão da vegetação nativa para a expansão agrícola, atividades agropecuárias e incêndios associados a fenômenos naturais. Assim, esta pesquisa realizou o mapeamento multitemporal das queimadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas (MG) e áreas adjacentes, com área total de 1241,06 km², localizado nos municípios de Olhos d'Água, Bocaiúva, Diamantina e Buenópolis. Para isso, foram utilizados sensores remotos *Thematic Mapper* (TM) do Landsat-5, *Operational Land Imager* (OLI) do Landsat-8 e o *Linear Imaging Self-Scanner* (LISSIII) do Resourcesat-1 para o mapeamento das áreas queimadas entre 1985 e 2019. As queimadas foram analisadas em conjunto com dados de precipitação e dados de uso e cobertura da terra para estabelecer as relações entre queimadas e condições meteorológicas/uso e cobertura da terra. Os resultados mostram que ocorreu aumento de 14% na ocorrência de queimadas nesses 34 anos e uma redução de 48% em relação aos anos anteriores à criação do parque, em 2002. E ainda, mostram que a Formação Savânica, Formação Campestre, Pastagem e Formação Florestal foram afetadas por queimadas nos últimos 34 anos, totalizando 2.369,41 km², 1.108,87 km², 502,63 km² e 198,35 km², respectivamente. Este estudo pode auxiliar na elaboração de um plano de ações que inclua a comunidade local no planejamento e na gestão do Parque, a recuperação de áreas queimadas e o controle dos incêndios nestas áreas.

Palavras-chave: Unidade de conservação. Uso e cobertura da terra. Sensoriamento remoto.

MAPPING OF BURNED AS A SUBSIDY FOR PROTECTED AREAS MANAGEMENT IN THE CERRADO: THE CASE OF SEMPRE-VIVAS NATIONAL PARK (MINAS GERAIS - BRAZIL)

ABSTRACT

In the Cerrado, the incidence of annual fires is high and frequent due to its suppression by the expansion of agriculture in areas with native vegetation and fires associated with natural phenomena, as well as deforestation and agricultural activities. Thus, this research aimed to

analyze and estimate the spatial and temporal dynamics of fire incidence in the Sempre-Vivas National Park (MG) and its adjacent areas, with total area of 1241.06 km² inserted in the municipalities of Olhos d'água, Bocaiúva, Diamantina, and Buenópolis. For this, were used the Thematic Mapper (TM) on board Landsat-5, Operational Land Imager (OLI) on board Landsat-8 and the Linear Imaging Self-Scanner (LISSIII) on board Resourcesat-1 to map the areas affected by fires from 1985 to 2019. In addition, fires were analyzed with precipitation data obtained from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS) sensor and MapBiomas product were used to analyze the land use and land cover changes. The results showed that there was an increase of 14% in the occurrence of burned areas in 34 years (1985-2019) and a 48% reduction in relation to the years prior to the creation of the park, in 2002. The results showed that the main alterations from the fires in its natural vegetation occurred in Savana Formation (2,369.41 km²), Campestre Formation (1,108.87 km²), Pasture (502.63 km²) and Forest Formation (198.35 km²). Therefore, this study can assist in the elaboration of an action plan aimed at the insertion of the local community in the planning and management of the park, the recovery of burnt areas and the control of fires in these areas, being of great importance to assist in inspection.

Keywords: Conservation unit. Land use and land cover. Remote sensing.

INTRODUÇÃO

As queimadas se associam ao desmatamento devido à conversão da vegetação nativa em culturas agrícolas. Além disso, destaca-se a falta de manejo adequado do fogo na vegetação remanescente em áreas dependentes do fogo, como é o caso do bioma Cerrado (SCHMIDT e ELOY, 2020). Nesse sentido, a importância da detecção e do monitoramento de queimadas não está ligada somente aos efeitos do desmatamento e conversão de uso e cobertura da terra, pois estas alterações ocasionam degradações ambientais, mudanças climáticas e processos de retroalimentação positiva na frequência e intensidade do fogo (MCKENZIE et al., 2004).

A queimada afeta o ciclo do carbono e libera aerossóis e gases de efeito estufa que modificam a atmosfera, os ecossistemas e afetam a saúde humana. Dentre as espécies emitidas durante a queima de biomassa pode-se citar o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), vapor d'água (H₂O), e o material particulado fino (MP_{2,5}) (PAGE et al., 2002; FEARNSIDE et al., 2009). Com relação ao uso e cobertura da terra do Cerrado brasileiro, maior savana tropical da América do Sul e segundo maior bioma brasileiro em extensão e biodiversidade, a crescente pressão imposta pelas atividades agrícolas, especialmente a soja, ocasionou a perda de aproximadamente metade de sua vegetação original (SANO et al., 2007; MMA, 2011). Nos anos de 1985 a 2019, o Cerrado teve uma redução de 285.000 km², totalizando 21,3% de sua área total. O Cerrado foi o bioma brasileiro que mais perdeu cobertura vegetal nesse período, sendo notável o aumento na incidência do desmatamento associado principalmente às queimadas (MAPBIOMAS, 2020b).

Em grande parte do Cerrado as queimadas são necessárias pois parte de sua vegetação é adaptada e dependente do fogo (PIVELLO, 2011; SCHMIDT e ELOY, 2020; FLORES et al., 2020). Porém, a intensidade e a frequência em que as queimadas ocorrem tornam o Cerrado vulnerável, já que, quando a severidade do fogo é muito alta, ao invés de auxiliar na rebrota da vegetação, a energia radiativa do fogo torna-se um agente de degradação de biodiversidade (COSTA e SILVA, 2011). Uma alternativa para diminuir essas ameaças no Cerrado é a criação de Áreas Protegidas e seu manejo adequado (RUSSO et al., 2018).

Nesse contexto, as unidades de conservação (UC) são o instrumento mais empregado pelos órgãos que visam à conservação e o uso sustentável de áreas com características naturais (DAVENPORT e RAO, 2002). Entretanto, devido principalmente às pressões antrópicas que ocorrem no entorno dessas unidades, as queimadas estão cada vez mais frequentes em áreas protegidas. Portanto, o manejo adequado das queimadas é uma das grandes preocupações nas UCs, principalmente pelo fato que a ausência total do fogo no Cerrado não é indicada. Uma solução que auxilia na redução de incêndios florestais nas áreas protegidas é a implementação do programa de Manejo Integrado do Fogo (MIF), que promove queimas controladas no início da estação seca. A eficácia do MIF foi comprovada em vários trabalhos, como em Fidelis et al. (2018), Schmidt et al. (2018), Lipsett-Moore, Wolff e Game (2018) e Schmidt e Eloy (2020).

Entre as áreas em que o MIF é empregado atualmente está o Parque Nacional das Sempre-Vivas (PNSV), localizado na Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço e integrando o grupo de UCs compreendidas pelo Projeto Cerrado-Jalapão com uma das UCs mais atingidas pela recorrência de

queimadas e por incêndios florestais no Brasil (MMA, 2020), o que têm prejudicado a manutenção de seus ecossistemas. Mesmo com estas características, esta UC ainda carece de informações acuradas e atualizadas sobre a distribuição anual das queimadas no seu interior. A falta dessas informações no Parque justifica a realização dessa pesquisa e contribui para preencher a lacuna existente de informações sobre as queimadas no PNSV, auxiliando em sua gestão e preservação. Assim, o objetivo principal deste trabalho consistiu na identificação e no mapeamento anual das cicatrizes de queimadas no PNSV e seu entorno, durante o período de 1985 a 2019.

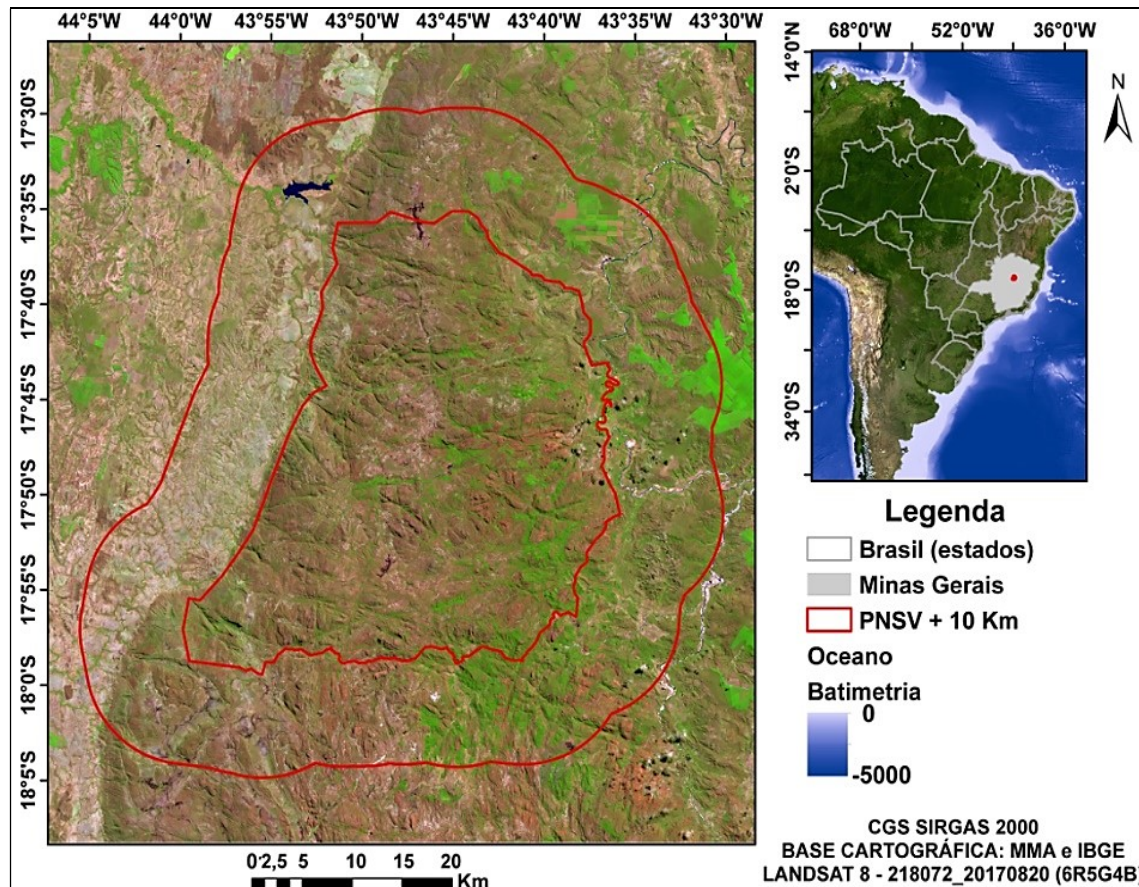
Compreender e analisar a ocorrência desses eventos é crucial para o desenvolvimento de planos de manejo, conservação e intervenções prioritárias, voltadas à proteção da biodiversidade e dos ecossistemas do bioma Cerrado. Para isto, foram utilizadas imagens orbitais de sensores de média resolução espacial por essas imagens fornecerem os dados necessários para o mapeamento das cicatrizes de queimadas, possibilitando uma melhor compreensão dos padrões e impactos desses eventos no PNSV, conforme descrição adiante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo (**Figura 1**) compreende o Parque Nacional das Sempre Vivas e seu entorno, unidade de conservação de proteção integral instituída e criada no dia 13 de dezembro de 2002 através de um Decreto de Lei sem número. O PNSV está localizado em Minas Gerais, entre as coordenadas 43° 46' 37,12" S e 17° 48' 22,17" W, nos municípios de Olhos d'Água, Bocaiúva, Diamantina e Buenópolis. Esta UC abrange uma área de 1.241,06 km², somando 3.063,89 km² com o entorno de 10 km. Possui perímetro aproximado de 168 km e pertence ao ecótono entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (BRASIL, 2002; MMA e ICMBIO, 2016).

Figura 1 - Localização do Parque Nacional das Sempre-Vivas (MG) e entorno de 10 km.



Fonte - os autores, 2019.

A Zona de Amortecimento (ZA), aqui considerada como o entorno, não é definida no ato de criação de um parque ou em seu documento legal (por exemplo, o plano de manejo), e seus limites eram estipulados embasados no Decreto de Lei número 99.274, de 6 de junho de 1990 que regulamenta a Lei nº 6.902/1981 e a Lei nº 6.938/1981, em uma área de 10 km no entorno do Parque. Esse limite foi revogado pela Resolução CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010, passando para 2 km para que a UC autorize a realização dos processos de licenciamentos de relevante impacto ambiental (BRASIL, 2010).

Entretanto, cabe ressaltar que, de acordo com o Plano de Manejo do PNSV, aprovado pela Portaria ICMBio número 10, de 03 de fevereiro de 2016, os limites da ZA é uma proposta de 3 km a partir da poligonal da unidade que deverá, por meio de instrumentos legais, ser estabelecida posteriormente (ICMBIO, 2016). Como tal limite só tem valor legal se for publicado por Lei ou Decreto, optou-se por adotar neste trabalho a recomendação de 10 km a partir da poligonal da UC, que é o valor estabelecido pelos gestores do Parque.

Desde o ano de criação da UC ainda são encontrados registros de áreas queimadas (MMA e ICMBIO, 2016). Nessa perspectiva, o PNSV iniciou a partir de 2014 uma proposta de manejo, que em 2015 foi implementada ao integrar a extensão de unidades pertencentes ao Projeto Prevenção, Controle e Monitoramento de Queimadas Irregulares e Incêndios Florestais no Cerrado – Projeto Cerrado Jalapão (MMA, 2020).

O objetivo do Projeto Cerrado Jalapão é aprimorar o MIF dentro das áreas protegidas e terras indígenas do Cerrado que possuem as maiores áreas atingidas por queimadas, possibilitando assim a conservação da biodiversidade da região, a redução de emissões de gases do efeito estufa e a manutenção como sumidouro de carbono de relevância global (MMA, 2020). Além desse projeto, o Parque também tem como parceiros no combate ao fogo o PREVINCÊNDIO-MG, que fornece apoio aéreo com aeronaves *Airtractor* e auxiliam no transporte de brigadistas em helicópteros a partir do alojamento do PNSV. Porém, a região norte da UC possui áreas de difícil acesso, fator que interfere na resposta da brigada à incêndios (MMA e ICMBIO, 2016).

Mapeamento das áreas queimadas

O mapeamento das áreas queimadas foi realizado principalmente a partir da utilização do sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat-5 (1985 a 2011), lançado em 1 de março de 1984 com início das operações em 1985, operando até novembro de 2011 (NASA, 2020). As imagens utilizadas para mapear as queimadas ocorridas de 2013 a 2019 foram obtidas através do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat-8, lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 com a finalidade de dar continuidade aos dados providos pela série Landsat (NASA, 2020). Ao se combinar ambos os sensores, foram totalizadas 149 imagens referentes à órbita/ponto 218/072 adquiridas na plataforma digital *Earth Explorer do United States Geological Survey* (USGS) (EARTH EXPLORER, 2020).

Ainda, foram utilizadas cenas do sensor *Linear Imaging Self Scanner* III (LISS-III) do Satélite Resourcesat-1 para o ano de 2002 e 2012 (totalizando 11 imagens), devido à cobertura de nuvens nas imagens Landsat e ao encerramento da vida útil do L5 no ano de 2011. Esse sensor foi desenvolvido pela agência espacial *Indian Remote Sensing Satellite* (IRS) e seus dados podem ser adquiridos na Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órbita/ponto 332/090 e 333/090 (INPE, 2020). Nesse sentido, as imagens adquiridas foram processadas e mapeadas entre os meses de junho a outubro de cada ano (estação seca e período em que as queimadas se concentram na área de estudo), seguindo critério de 25% de cobertura máxima de nuvens.

O procedimento adotado para a categorização das áreas queimadas seguiu a interpretação visual das imagens a partir do mapeamento de todas as cicatrizes do fogo presentes na área de estudo. As imagens do satélite Landsat foram inseridas no *software* Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 5.5.5) (SPRING, 2020), onde foi realizado o pré-processamento para melhorar a qualidade visual das imagens e a detecção das áreas queimadas. As bandas espectrais utilizadas que permitem a melhor visualização das cicatrizes de queimadas foram: banda 3 (região do vermelho), banda 4 (infravermelho próximo) e banda 5 (região do infravermelho médio), com aplicação do contraste gerando a composição colorida 3B4G5R em imagens do sensor TM. Nas

imagens do sensor OLI, a banda 4 (região do vermelho), banda 5 (infravermelho próximo) e banda 6 (infravermelho médio) foram utilizadas (4B5G6R).

As imagens LISS-III foram georreferenciadas no *software Exelis Visual Information Solutions – ENVI* (ENVI, 2020). Todas as imagens foram geometricamente corrigidas por meio do modelo polinomial de primeiro grau e interpolador vizinho mais próximo, que possibilita a comparação multitemporal das imagens provenientes de satélites distintos. As imagens foram georreferenciadas a partir de cenas do Landsat, adquiridas da base *Geocover*, disponibilizada pela NASA. Após o georreferenciamento, as imagens foram importadas para o SPRING e a metodologia de mapeamento foi a mesma utilizada nas imagens dos sensores TM e OLI, a partir da segmentação pelo método de crescimento por regiões. Os limiares de área mínima em pixels e similaridade utilizados foram 15/15 para o sensor TM e LISS III e 1050/15 para o sensor OLI. Posteriormente, os polígonos que apresentavam queimadas foram associados a uma categoria temática denominada Queimadas, sendo realizada uma edição manual posterior para refinar o mapeamento. Após o mapeamento anual de todas as imagens elaborou-se um mapa de frequência de queimadas.

Análise da precipitação de 1985 a 2019

O *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* (CHIRPS) é um conjunto de dados de precipitação desenvolvido pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pelo *Climate Hazards Group at the University of California*, Santa Barbara (UCSB). Possui resolução espacial de 0,05° e cobertura geográfica de 50°S a 50°N, com dados de 1981 em intervalos diários, em pentadas e mensais (FUNK et al., 2015). O CHIRPS utiliza as seguintes fontes de informação: (I) Dados de precipitação média acumulada do *The Climate Hazards Group's Precipitation Climatology* (CHPClim); (II) Observações de dados do infravermelho termal (*Thermal Infrared*, TIR) de satélites geoestacionários da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), Centro de Previsão Climática (CPC) e o *National Climatic Data Center Climáticos* (NCDC); (III) Campos de Precipitação do *Coupled Forecast System* da NOAA, versão 2 (CFSv2); (IV) Diversas observações de precipitação através de produtos de estações meteorológicas *in situ*, criando séries temporais de precipitação em grade para a análise de tendência e monitoramento ambiental de seca sazonal, e outros serviços regionais (FUNK et al., 2015; CHG WIKI, 2021). Os dados do CHIRPS foram utilizados para analisar a influência da precipitação na ocorrência anual das queimadas no PNSV a partir da plataforma Google *Earth Engine*, utilizando a média zonal na área delimitada para o PNSV. Esse produto foi validado por Costa et al. (2019) a partir de 183 estações meteorológicas do INMET/CPTEC para todo o Brasil, mostrando resultados confiáveis para o estudo de pesquisas climáticas.

Análise do uso e cobertura da terra

Para analisar as modificações ocorridas no uso e cobertura da terra na área de estudo, foram utilizados os dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias). Esse projeto é uma iniciativa do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e do Observatório do Clima (OC) com uma rede colaborativa interinstitucional de co-criadores (ONGs, universidades e empresas de tecnologia) em cada bioma brasileiro e temas transversais (pastagem, agricultura, zona costeira, área urbana). Utiliza a tecnologia da plataforma Google *Earth Engine*, a partir de classificações automáticas anuais do uso e cobertura da terra do Brasil com imagens da série Landsat. O MapBiomias foi lançado em 2015 e possui uma série histórica de 1985 até o presente de forma gratuita, sendo disponibilizado para *download* os dados, códigos e metodologias utilizadas (MAPBIOMAS, 2018; 2019).

Cabe salientar que a classificação realizada no MapBiomias passa por uma árvore de decisão com parâmetros estabelecidos por especialistas para as diferentes regiões do país. A análise da acurácia é pré-determinada por técnicas de amostragem estatística, composta por cerca de 75.000 amostras independentes, que foram avaliadas em cada *pixel* da base de dados de referência para cada ano por técnicos treinados em interpretação visual de imagens Landsat. Ressalta-se que em caso de confusão, um técnico sênior decide a classe final do pixel (MAPBIOMAS, 2020b).

As informações da coleção 5 foram adquiridas através do fórum do projeto disponível na plataforma digital do projeto (MAPBIOMAS, 2020a). As etapas para a obtenção dos dados de acesso e download foi realizada pelo *Code Editor* do Google *Earth Engine*, que permitiu iniciar os *scripts* para

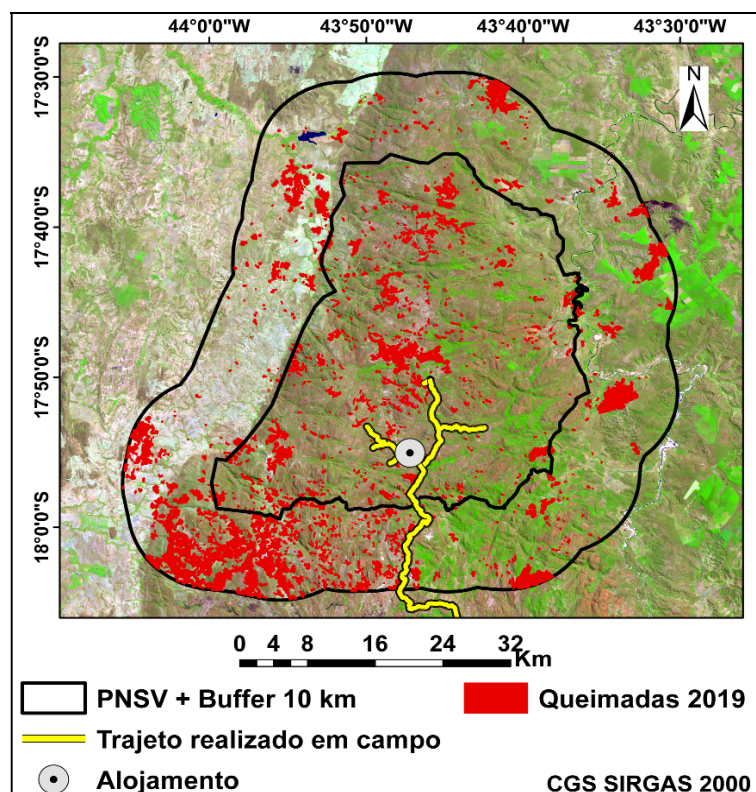
visualização e processamento de dados. Os *scripts* do MapBiomas possuem todas as informações espectrais e parâmetros específicos para gerar o dado adequado para cada área selecionada em seu ano correspondente. Estes foram utilizados para extrair as informações da área de estudo.

Trabalho de campo

Diante da necessidade de assegurar a confiabilidade do mapeamento das áreas queimadas, durante os dias 01/10/2019 a 04/10/2019 foi realizado um trabalho de campo no PNSV. Em campo, foi utilizado um receptor *Global Positioning System* (GPS), modelo GPSMAP-64S, acoplado a um *notebook* para utilizar o *software Global Mapper* versão 20 (BLUE MARBLE, 2020) ao demarcar a localização geográfica de áreas queimadas e compará-las com o mapeamento realizado pelas imagens de satélite. Além disso, foi realizada uma reunião com a equipe de gestores do PNSV para troca de informações. A **Figura 2** ilustra o trajeto percorrido com os 421 pontos coletados com o GPS, que representa a localização das áreas que foram classificadas como cicatrizes recentes, queimadas antigas ou focos ativos. Durante a aquisição dos pontos também era feito o registro de outras informações, por exemplo, se era um foco ativo, cicatriz de queimada recente, cicatriz de queimada antiga, tamanho aparente, localização à direita ou a esquerda da via, severidade da área queimada, tipo de vegetação, afloramento rochoso, corpo d'água, entre outros.

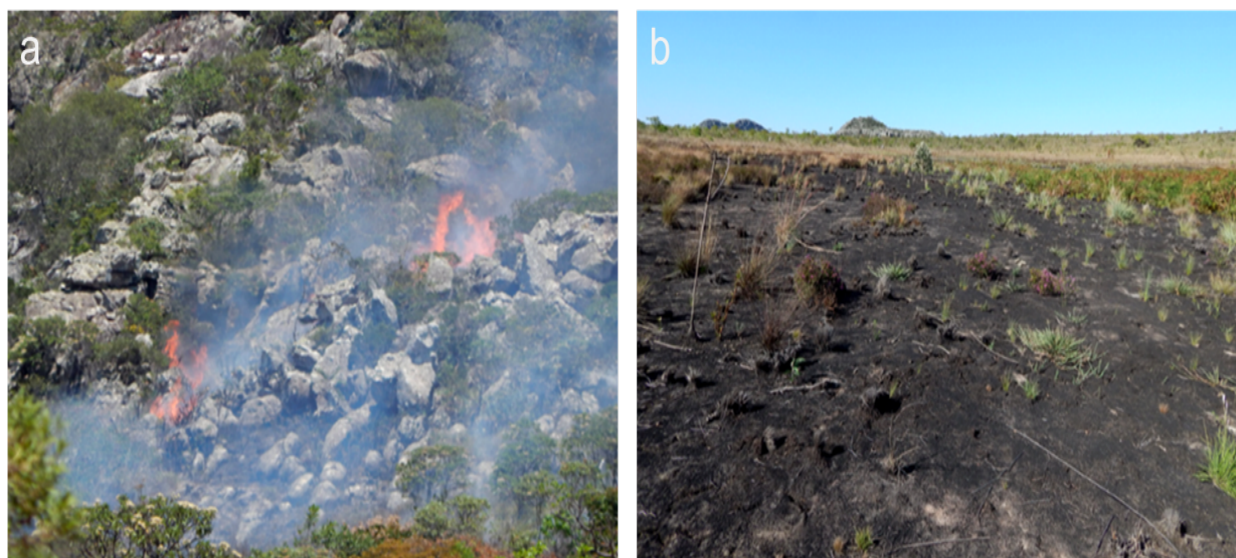
Posteriormente, analisou-se os dados coletados em campo com a cena mapeada para a mesma época, com o intuito de sanar dúvidas referentes a alguns elementos nas imagens, como os afloramentos rochosos e, a partir disso, todas as cenas já mapeadas puderam ser analisadas novamente e o mapeamento foi refinado. Nesse contexto, presumia-se que os afloramentos rochosos presentes no Parque não queimavam e podiam ser confundidos com cicatrizes de queimadas, porém, após o trabalho de campo, observou-se que essas áreas também queimavam. Assim, o mapeamento foi atualizado para todos os anos da análise (**Figura 3a**). Outro elemento que foi corrigido foi as áreas de turfeiras, que foram classificadas erroneamente em anos seguidos, já que este tipo de vegetação demora a se regenerar naturalmente e a princípio havia sido classificada como queimada (**Figura 3b**).

Figura 2 - Trajeto do campo realizado no Parque Nacional das Sempre-Vivas em 2019.



Fonte - os autores, 2019.

Figura 3 - Área com foco ativo em afloramento rochoso (a); e queimada em áreas de turfeiras (b) detectadas durante o trabalho de campo em 2019.



Fonte - os autores, 2019.

As turfeiras são consideradas reservatórios de carbono e água resultante de condições ecológicas ideais ao acúmulo de material orgânico (SILVA e SILVA, 2017). Aliados a esse fator e ao teor de umidade da turfa, se ocorrer contato com o fogo, a regeneração do local poderá levar anos. Embora em superfície a queima possa já ter sido controlada, subterraneamente ela pode se espalhar, fazendo com que a extinção do fogo demore muito tempo, podendo se propagar por anos (PRAT-GUITART et al., 2016). Assim, esse fato faz com que uma mesma área de turfeira queimada em um determinado ano continue aparecendo em imagens de satélite nos anos subsequentes. Ressalta-se ainda que devido à grande extensão territorial do PNSV e a vários acessos estarem em condições precárias, sendo a maioria inacessível, não foi possível percorrer todo o limite dessa unidade.

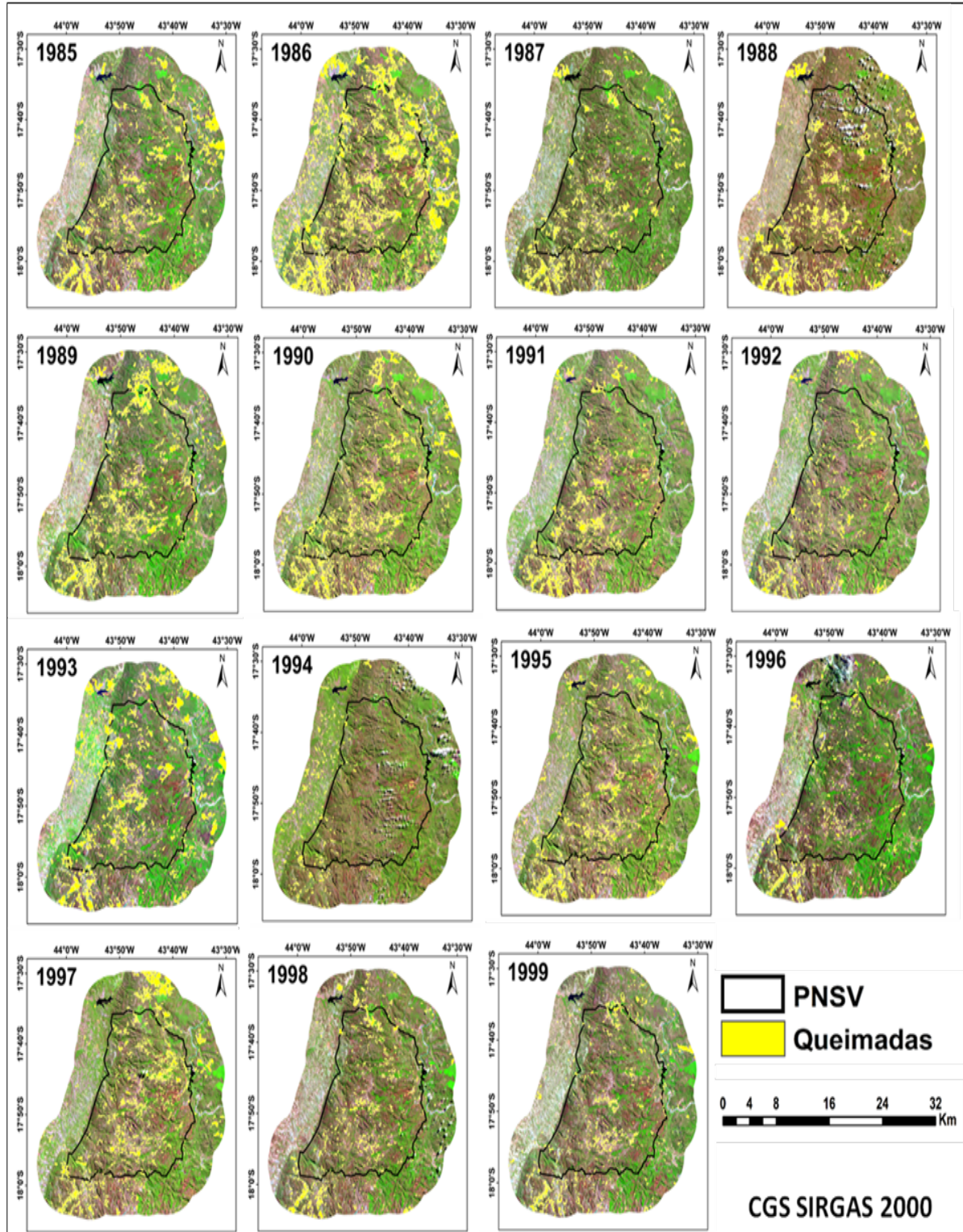
As cicatrizes de queimadas são visualizadas com tonalidades escuras e textura lisa, porém, os padrões espectrais das queimadas são semelhantes a outros elementos que exibem resposta espectral similar, como os corpos d'água, áreas agrícolas, sombras de acidentes orográficos e/ou nuvens (BOSCHETTI et al., 2015). Dessa forma, para se obter um resultado mais preciso dos dados torna-se necessária a validação do mapeamento realizado. Nesse contexto, a validação das áreas mapeadas foi realizada a partir da estatística Kappa, obtendo o valor de 0,99, considerado como excelente concordância. Uma vez que foi percorrido apenas os locais transitáveis dentro do parque, é comum encontrar valores mais elevados de Kappa, uma vez que a principal fonte de incertezas no mapeamento origina-se do mapeamento de áreas úmidas ou sombreamento ocasionado pelo relevo. Desta forma, devido à natureza da paisagem, esses elementos são encontrados em menor quantidade em lugares acessíveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição espacial das áreas queimadas no PNSV e entorno é apresentada na sequência das **Figuras 4 e 5**, e quantificadas na **Figura 6**. Nota-se que os anos que mais queimaram foram 1986 (9,59% da área de estudo total), 1993 (5,60% da área de estudo total), 2019 (4,94% da área de estudo total), 1989 (4,43% da área de estudo total) e 1985 (4,24% da área de estudo total). Após a criação do PNSV em 2002, os anos de 2019 (4,94% da área de estudo total), 2002 (2,57%), 2004

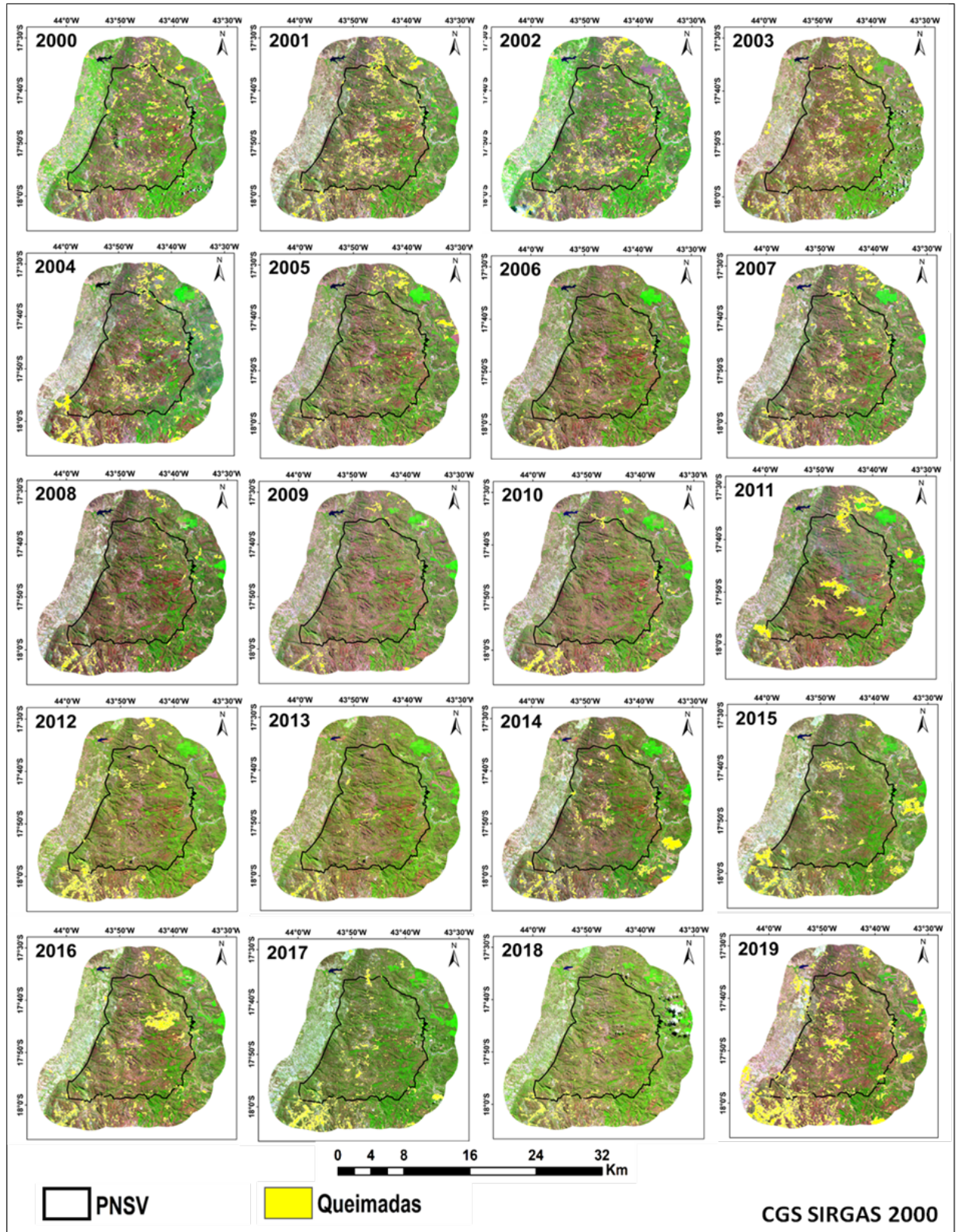
(2,53%), 2011 (2,47%) e 2015 (2,40%) foram aqueles que apresentaram os maiores percentuais de áreas queimadas.

Figura 4 - Mapeamento de áreas queimadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas e entorno (1985-1999). Imagens TM - Landsat 5, composição colorida 5R4G3B.



Fonte - os autores, 2021.

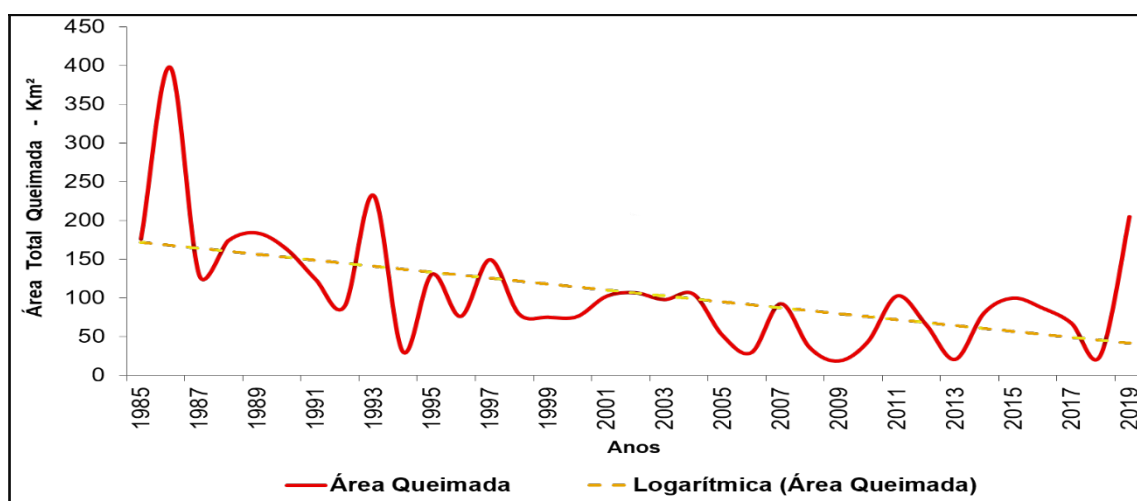
Figura 5 - Mapeamento de áreas queimadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas e entorno (2000-2019), Imagens TM – Landsat 5 (até 2011), LISS III – Resourcesat-1 (2012) e OLI - Landsat 8 (2013 a 2019). Composição Colorida Landsat 5 - 5R4G3B, Liss-III - 4R3G2B e Landsat 8 - 6R5G4B.



Fonte - os autores, 2021.

As grandes cicatrizes encontradas no entorno do Parque se relacionam com as atividades antrópicas que ocorrem na região, destinadas para a agricultura e a renovação de pastos para o gado, o que acentua a extensão das queimadas. Além disso, a abrangência das queimadas nessa região é influenciada pela falta de combate ao fogo, que é realizado pela brigada somente no interior da UC. De uma forma geral, é possível observar que as queimadas apresentam uma variabilidade temporal significativa ao longo da série analisada, enquanto espacialmente ocorrem na porção central-norte e sudoeste, que são regiões onde ocorrem o maior número de áreas queimadas. No entorno do PNSV, a maior ocorrência das queimadas foi no ano de 1986, seguido do ano de 1993 e apresentando substancial diminuição no ano seguinte. Após a criação do Parque, no ano de 2002, houve uma diminuição gradativa de cerca de 48% em relação aos anos anteriores (1985-2001), apresentando um aumento de ocorrência no ano de 2019. Assim, 1986, 1993 e 2019 se destacaram na maior ocorrência de áreas queimadas, sendo queimados cerca de 9,59%, 5,60% e 4,94% respectivamente do total da área de estudo. Ainda, os anos que apresentaram considerável diminuição nos registros foram 2009 com 0,45%, 2013 com 0,49% e 2018 com 0,62%. A tendência dessa série temporal ainda mostra que, a partir da criação do PNSV em 2002, a tendência é de baixa e a projeção futura tende a se comportar da mesma maneira diminuindo as queimadas no parque (significativa a $p < 0,05$, teste t-student).

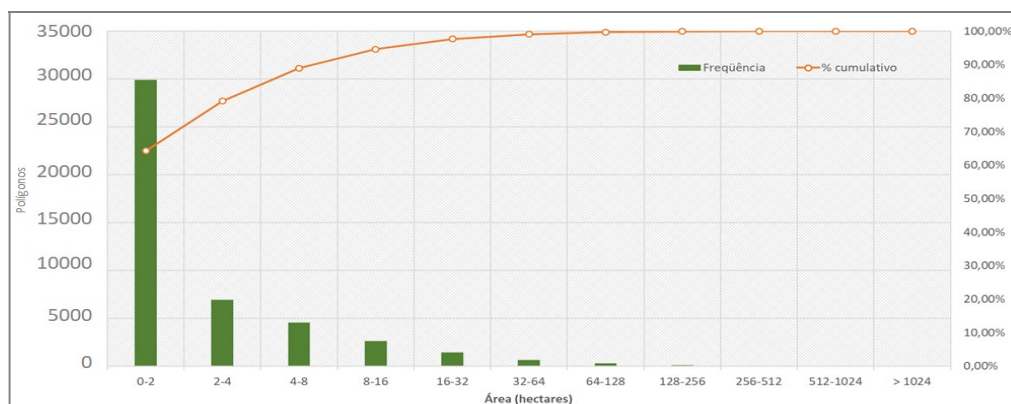
Figura 6 - Área total queimada no PNSV e entorno no período de 1985-2019.



Fonte - os autores, 2021.

De uma forma geral, a maioria das queimadas identificadas na área de estudo são caracterizadas por pequenas cicatrizes, conforme pode ser visualizado na **Figura 7**. Dessa forma, percebe-se que 64,31% de todas as queimadas mapeadas possuem tamanho de cicatriz em torno de 0,02 km², 14,86% possuem tamanho de 0,02 a 0,04 km², 9,81% possuem tamanho de 0,04 a 0,08 km², 5,66% possuem tamanho de 0,08 a 0,16 km², 3,05% possuem tamanho de 0,16 a 0,32 km², e 1,43% possuem tamanho de 0,32 a 0,64 km². Ainda, as queimadas com tamanho de cicatriz acima de 0,64 km² totalizaram menos de 1% (0,88%). Portanto, a partir do tamanho da área afetada pelo fogo nas cicatrizes encontradas na área estudada, as queimadas no PNSV são comumente consideradas de pequeno porte, principalmente pelas características rochosas do parque, que não permite a propagação e maior extensão das mesmas. Ressalta-se que essa definição não é estabelecida por uma referência bibliográfica específica e geralmente varia de estudo para estudo, pois depende do tamanho da cicatriz deixada pela queimada, da intensidade do fogo, do impacto ambiental e ecológico, e pode variar dependendo da região e das características do ecossistema local.

Figura 7 - Frequência das queimadas por tamanho de cicatriz no Parque Nacional das Sempre-Vivas e entorno (1985 a 2019).



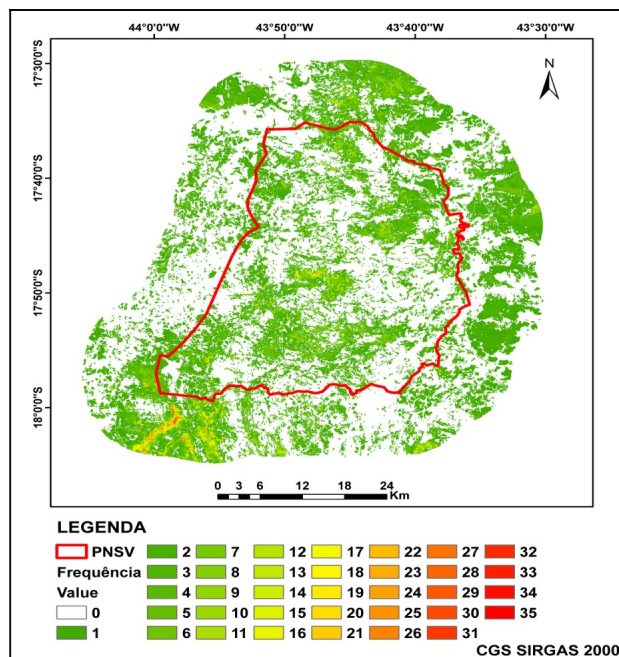
Fonte - os autores, 2021.

Assim, apesar da maioria das queimadas serem caracterizadas por pequenas cicatrizes, de até 0,02 km², percebe-se nos anos analisados que as queimadas se concentraram em sua maioria no interior do PNSV. A respeito dessa concentração no Parque, Leon, Van Leeuwen e Casady (2012) mostra que a recuperação da vegetação pós-fogo é influenciada por uma sucessão de fatores antrópicos e naturais, como as características da própria vegetação, do clima, do solo, da topografia, da frequência, do tamanho, das práticas de restauração e da severidade do incêndio, que acabam influenciando no potencial de regeneração e de funcionamento ecológico dos ecossistemas na resposta da vegetação no pós-fogo. Ainda, as cicatrizes de queimadas de maior tamanho foram identificadas o entorno do Parque, concentradas espacialmente na borda da região sudoeste, na região norte-nordeste e na região leste. Nesse sentido, o resultado obtido é um indicativo que a criação do parque e o MIF (aplicado somente dentro do PNSV) reduzem o tamanho da área queimada. Esses resultados corroboram com Soares (2016), que encontraram queimadas mais extensas nas bordas sudoeste e norte do PNSV.

A **Figura 8** caracteriza o mapa de frequência acumulada, que propicia a identificação espacial da recorrência do fogo nas áreas com maior presença de cicatrizes de queimada no período dos 35 anos analisados. Nessa figura, áreas em branco indicam a ausência de queimadas no período analisado. Entretanto, áreas em vermelho indicam alta recorrência de queimadas no local. As áreas sem queimadas correspondem a 54,17% da PNSV, sendo essencialmente áreas de afloramento rochoso com pouca concentração de material orgânico. A classe que mais apresentou queimadas representa áreas que queimaram apenas 1 vez desde 1985, com 621,24 km², apresentando uma diminuição gradativa até a classe 35 (0,001 km²). Assim, esse resultado sugere que novas áreas são queimadas todos os anos, fator que corrobora a busca por medidas preventivas e maior fiscalização.

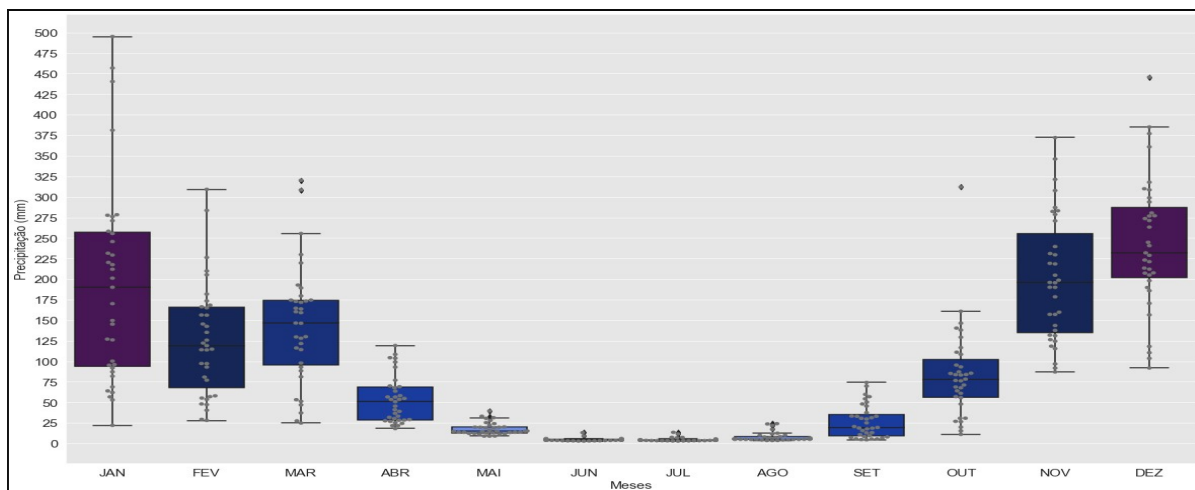
Nesse contexto, as áreas queimadas foram analisadas conjuntamente com a precipitação, com o intuito de verificar se a mesma influencia em sua ocorrência. A análise mensal da precipitação mostra que os meses mais secos ocorrem a partir de abril/maio e se estendem até setembro, e os meses com maior volume de precipitação ocorrem de outubro a março, conforme pode ser visto na **Figura 9**. Percebe-se o mês de janeiro como o mais chuvoso, sendo que no período de 1985 a 2019 a precipitação mensal do referido mês oscilou entre 100 e 260 mm, com mínimas de 25 mm e máximas de 500 mm. Os meses mais secos são junho e julho, com variação entre 0 e 10 mm.

Figura 8 - Frequência anual das áreas queimadas no PNSV e entorno (1985-2019).



Fonte - os autores, 2021.

Figura 9 - Box-Plot da precipitação mensal em mm, estimada pelo produto CHIRPS, para o PNSV no período de 1985 a 2019.

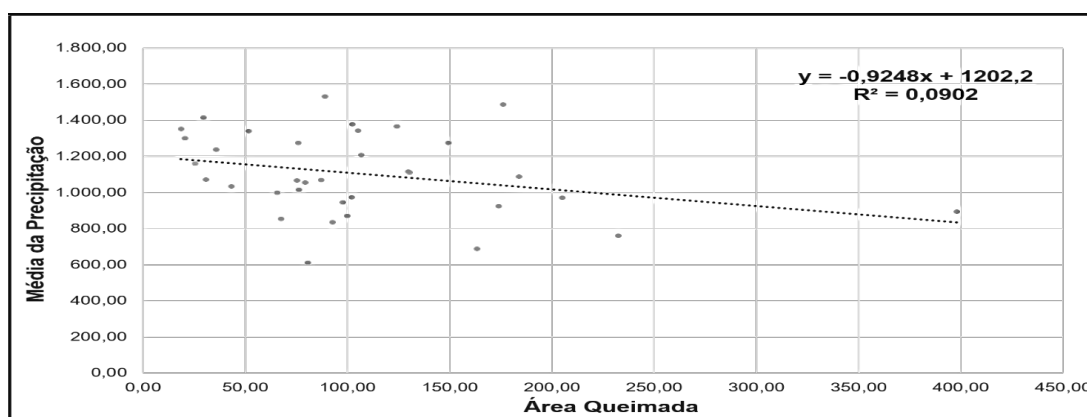


Fonte - os autores, 2021.

A **Figura 10** mostra a correlação da série temporal de dados da média anual da precipitação em conjunto com o total das áreas queimadas mapeadas. No geral, percebe-se que a precipitação anual se concentra entre 610 e 1530 mm, com os valores mais baixos nos anos de 2014 (610,168 mm), 1990 (689,261 mm) e 1993 (761,296 mm) e os valores mais altos nos anos de 1992 (1.532,958 mm), 1985 (1.487,768 mm) e 2006 (1.415,340 mm). Entretanto, embora exista uma variabilidade natural da precipitação ao longo dos anos, nem sempre o ano mais seco indicou a maior ocorrência de áreas queimadas, já que há uma associação fraca e negativa entre estes fenômenos e apenas 9,02% da variação na média da precipitação exerce influência na variação das áreas queimadas. Há uma

relação direta entre precipitação e área queimada nos anos de 1986, 1990 e 1993, porém, o ano de 2014 apresentou a média anual mais seca, mas ficou em 15º lugar no *ranking* dos anos que mais queimaram. O contrário também foi detectado, o ano de 1992 foi o mais chuvoso, ficando em 16º lugar nos anos que mais queimaram. De acordo com Mataveli et al. (2018), nem sempre existe correlação direta entre área queimada e precipitação ou condição da vegetação para o Cerrado. Dessa forma, é preciso inserir os efeitos das atividades antrópicas para explicar a ocorrência do fogo.

Figura 10 - Dados totais anuais da correlação entre áreas queimadas em km² e média da precipitação anual em mm do PNSV de 1985 a 2019.



Fonte - os autores, 2021.

A análise temporal indica que 4,97% das áreas de Formações Savânicas, 3,76% de Formação Campestre, 3,15% de Pastagens, 1,88% de Formação Florestal, 1,43% de Floresta Plantada foram queimadas entre 1985 e 2019. Ressalta-se que de 1985 a 2019 as queimadas modificaram 10,61% de áreas naturais do Parque e entorno, e degradaram 4,58% de áreas de influência antropogênica. Após a implementação do PNSV como UC de proteção integral em 2002, é possível observar uma diminuição gradativa na ocorrência das queimadas, com exceção das áreas de entorno do Parque. Dessa maneira, os resultados podem nortear ações futuras de mitigação com o planejamento de ações preventivas. A legislação atual preconiza diretrizes a serem seguidas, no entanto, na prática tais ações não conseguem ser implementadas, visto que ainda existem obstáculos a serem vencidos, principalmente no sentido de fiscalização e de punição.

Dentre os principais impactos advindos do uso do fogo no PNSV estão a modificação na estrutura da vegetação nativa das espécies em outras formações, a erosão e o assoreamento. Segundo os gestores do PNSV, a ausência de regularização fundiária auxilia na ocorrência das queimadas, pois os moradores utilizam o fogo na preparação do terreno sem o acompanhamento do ICMBio (existe dificuldade de contato e acesso às áreas). Outros problemas relatados são a: (i) coleta e comercialização pelos moradores da região de várias espécies de sempre-vivas (incluindo espécies ameaçadas de extinção); (ii) exploração de carvão, apresentando uma diminuição após 2008 devido a uma maior fiscalização; (iii) exploração mineral como o garimpo; e (iv) atividade de pecuária extensiva na área, em especial do tipo de corte (MMA e ICMBIO, 2016). Assim, o monitoramento das queimadas deve ser uma prioridade nas políticas de conservação no PNSV.

Paralelamente ao processo de degradação ambiental ocasionado pelas queimadas, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) começou a ser empregado no PNSV a partir do ano de 2015 com queimas prescritas e confecções de aceiros, como uma estratégia preventiva de redução na ocorrência e na extensão das queimadas devido à diminuição do acúmulo da biomassa nos anos subsequentes (ICMBIO, 2020). A implementação da etapa-piloto do MIF em 2015 caracterizou-se por 15 polígonos com 2,82 km² (282,65 ha, sendo 18 ha de área média por polígono identificado). No ano de 2016 foram 25 polígonos com 2,90 km² e 0,11 km² de área média por polígono (ICMBIO, 2016). Segundo relatório interno disponibilizado pelo Parque, no ano de 2017 as áreas que foram queimadas controladamente no MIF totalizaram 2,95 km². Ressalta-se que o MIF é anualmente realizado no PNSV.

No entanto, muita pesquisa ainda é necessária para que o MIF seja otimizado. Por exemplo, Mistry et al. (2005) sugerem a estratégia de queima em “manchas de mosaico” a cada 2-3 anos, enquanto Silva (2018) sugere queimas bienais em apenas algumas áreas visando o controle da biomassa de gramíneas para preservar a estrutura da vegetação arbórea/arbustiva típica do Cerrado. Nesse sentido, é válido que o MIF continue a ser empregado na unidade, mas outras medidas devem ser tomadas, já que as ocorrências podem se justificar em maioria pela execução das principais atividades antrópicas de uso e ocupação da terra que ocorrem na região do Parque. Essas atividades são destinadas principalmente à exploração mineral, produção agrícola e pecuária, exploração de carvão, caça e extrativismo vegetal (MMA e ICMBIO, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas referentes às queimadas em áreas protegidas do Cerrado são complexas, pois dependem da disponibilidade de dados, de questões internas com a gestão da unidade e de questões externas com as pressões antrópicas. Dessa forma, o sensoriamento remoto se torna uma ferramenta muito importante para a análise e o acompanhamento da dinâmica temporal e espacial do fogo, podendo ser utilizado também para verificar o vigor vegetativo, a regeneração da área impactada e as emissões de poluentes provenientes das queimadas.

Nesse sentido, com os resultados obtidos foi possível analisar a dinâmica temporal e espacial do fogo no PNSV durante os anos de 1985 a 2019, onde o mapeamento apontou que novas áreas são queimadas todos os anos no PNSV. Isso evidencia a complexidade das pesquisas relacionadas as queimadas nessas áreas protegidas por conta tanto da disponibilidade de dados quanto de questões internas como a gestão da UC e questões externas, como pressões antrópicas. Com isso, o uso do sensoriamento remoto permitiu superar esses desafios, fornecendo informações valiosas para compreensão e o monitoramento das queimadas.

Embora o PNSV tenha sido criado no final de 2002, nos anos subsequentes a ocorrência das queimadas ainda é significativa, principalmente devido às mudanças no uso e na cobertura da terra, já que muitas comunidades geralmente utilizam o fogo como prática de manejo, principalmente no entorno do parque, e o descontrole do fogo acaba extrapolando os limites da UC. Assim, de acordo com os gestores do Parque, a falta de regularização fundiária é um fator importante que auxilia na ocorrência das queimadas no interior do Parque, além das áreas de entorno, sendo que muitas vezes o fogo que ocorre fora de seus limites acaba adentrando na UC e afeta sua integridade.

A metodologia utilizada nesse estudo pode ser aplicada em outras UCs do Cerrado e demais biomas susceptíveis aos efeitos do fogo, contribuindo para a gestão e manejo dessas áreas. O mapeamento das queimadas e a análise do uso e cobertura da terra auxiliam no controle dos impactos negativos decorrentes desses eventos, tanto no interior dos Parques quanto em suas áreas adjacentes. Para isso, é necessário integrar estratégias participativas de planejamento e gestão com as comunidades locais, além de regularizar a posse das terras e estabelecer a criação de zonas de amortecimento legalmente definidas. Essas medidas visam reduzir as queimadas descontroladas e intencionais, preservando a integridade dos Parques Nacionais.

A abordagem adotada demonstrou eficácia na identificação e delimitação das áreas afetadas pelo fogo, permitindo uma análise detalhada das cicatrizes resultantes. Além disso, o mapeamento preciso e eficaz das cicatrizes de queimada é fundamental para o monitoramento e a gestão de áreas afetadas pelo fogo, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisões. Essas informações são essenciais por abranger desde a recuperação e reabilitação de ecossistemas afetados até a prevenção e combate a incêndios florestais. Portanto, recomenda-se que essa metodologia seja considerada e aplicada em futuras pesquisas e projetos relacionados ao monitoramento de áreas impactadas por incêndios, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos padrões de queimadas e para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes dessas áreas vulneráveis a esse tipo de ocorrência.

Espera-se que os resultados auxiliem não só no processo de gestão para preservação da unidade e no manejo do Parque, mas também das regiões mais suscetíveis ao combate dos efeitos do fogo, uma vez que muitos deles não possuem nem a ZA definida. Nessa perspectiva, devido à ausência no planejamento do uso e cobertura da terra no entorno da unidade, a criação da zona de amortecimento em meios legais (Lei ou Decreto) é de fundamental importância no objetivo de controlar os impactos negativos advindos do exterior promovendo, assim, sua integridade como Parque Nacional. Ainda, é importante que o planejamento e a gestão do parque sejam integrados de forma participativa com a comunidade local, para tentar evitar as queimas descontroladas e intencionais. Conclui-se, portanto, que esta pesquisa apresenta um papel de relevância junto à gestão da UC, reafirmando que, mesmo o Parque sendo de proteção integral, ele não está livre dos impactos decorrentes das queimadas.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de mestrado durante um ano da elaboração dessa pesquisa, e a toda equipe de Gestores e Brigadistas do ICMBio, por todas as contribuições e auxílio no trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

- BLUE MARBLE, GEOGRAPHICS. **Global Mapper**. 2020. Disponível em: <<https://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php>>. Acesso em: 07 jun. 2020.
- BOSCHETTI, L.; ROY, D. P.; JUSTIÇA, C. O.; HUMBER, M. L. MODIS-Landsat fusion for large area 30m burned area mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 161, pp. 27-42, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2015.01.022. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.022>
- BRASIL. **Decreto-Lei sem nº, de 13 de dezembro de 2002**. Cria o Parque Nacional das Sempre-Vivas, nos municípios de Olhos d'Água, Bocaiúva, Buenópolis e Diamantina, no Estado de Minas Gerais, e dá outras providências. Brasília: 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/2002/Dnn9778.htm. Acesso em: 04 ago. 2019.
- BRASIL. **Resolução-CONAMA nº 428, de 17 de dezembro de 2010**. Dispõe, no âmbito do licenciamento ambiental sobre a autorização do órgão responsável pela administração da Unidade de Conservação (UC), de que trata o de que trata o § 3º do artigo 36 da Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000, bem como sobre a ciência do órgão responsável pela administração da UC no caso de licenciamento ambiental de empreendimentos não sujeitos a EIA-RIMA e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/resolucao_CONAMA_428_17dez2010.PDF. Acesso em: 20 mar. 2021.
- CHG WIKI, Climate Hazards Group. **CHIRPS FAQ - Contents**. 2021. Disponível em: https://wiki.chc.ucsb.edu/CHIRPS_FAQ. Acesso em: 27 mar. 2021.
- COSTA, J.; PEREIRA, G.; SIQUEIRA, M. E.; CARDOZO, F. S.; SILVA, V. V. Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15, v. 24, pp. 228 - 243. 2019.
- COSTA, N. M. C. da; SILVA, J. X. da. Geoprocessamento aplicado à criação de planos de manejo: o caso do parque estadual da Pedra Branca – RJ. pp. 67-114. In: SILVA, J. X. da; ZAIDAN, R. T. (Org.). **Geoprocessamento & Análise Ambiental: Aplicações**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 366p., 2011.
- DAVENPORT, L.; RAO, M. História da proteção: paradoxos do passado e desafios do futuro. In: TERBORGH, J; et al. (Eds). **Tornando os Parques Eficientes: Estratégias para a conservação da natureza nos trópicos**. Curitiba: UFPR, p. 52-73, 2002.
- EARTH EXPLORER. Plataforma digital de downloads de dados de satélites desenvolvidos e distribuídos gratuitamente georreferenciados pela *National Aeronautics and Space Administration*

(NASA). **USGS – Science for a Changing World**. 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 set. 2020.

ENVI, Exelis Visual Information Solutions. **Software ENVI: The Environment for Visualizing Images**, Versão 5.3 (software de computador). Boulder, CO: Exelis Visual Information Solutions. 2020. Disponível em: <https://www.envi.com.br/pages/envi>. Acesso em: 01 nov. 2020.

FEARNSIDE, P. M.; RIGHI, C. A.; DE ALENCASTRO GRAÇA, P. M. L.; KEIZER, E. W.; CERRI, C. C.; NOGUEIRA, E. M.; BARBOSA, R. I. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian “arc of deforestation”: The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1968-1978, 2009. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.07.042](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.042).

FIDELIS, A.; ALVARADO, S. T.; BARRADAS, A. C. S.; PIVELLO, V. R. The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado. **Fire**, v.1, n. 3: 49, pp. 1-11, 2018. DOI: [10.3390/fire1030049](https://doi.org/10.3390/fire1030049).

FLORES, B. M.; DECHOUM, M. S.; SCHMIDT, I. B.; HIROTA, M.; ABRAHÃO, A.; VERONA, L.; PECORAL, L. L. F.; CURE, M. B.; GILES, A. L.; COSTA, P. B.; PAMPLONA, M. B.; MAZZOCHINI, G. G.; GROENENDIJK, P.; MINSKI, G. L.; WOLFSDORF, G.; SAMPAIO, A. B.; PICCOLO, F.; MELO, L.; LIMA, R. F.; OLIVEIRA, R. S. Tropical riparian forests in danger from large savanna wildfires. **Journal of Applied Ecology**. pp. 1-12. 2020. DOI: [10.1111/1365-2664.13794](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13794).

FUNK, C. PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, p. 150066, 2015. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base cartográfica da área de estudo**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=33087&t=downloads>. Acesso em: 23 Mar. 2022.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Portaria nº10, de 03 de fevereiro de 2016**. Aprova o Plano de Manejo do Parque Nacional das Sempre-Vivas, estado de Minas Gerais Processo nº 02070.003055/2012-15. Brasília: 2016. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/edital/Portaria_10_de_03_de_fevereiro_de_2016_sem_pre_vivas.pdf. Acesso em: 04 ago. 2019.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade. **Lança campanha contra queimadas**. 2020. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/ultimas-noticias/20-geral/9910-icmbio-lanca-campanha-contra-queimadas>. Acesso em: 07 jun. 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DGI, Divisão de Geração de Imagens. **Imagem do satélite Resourcesat-1, sensor Linear Imaging Self Scanner III (LISS-III), órbita/ponto 332/090 e 333/090**. 2020. INPE: São José dos Campos, SP. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 01 nov. 2020.

LEON, J. R. R.; VAN LEEUWEN, W. J. D.; CASADY, G. M. Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments. **Remote Sensing**. v. 4, n. 598-621. 2012. DOI: [10.3390/rs4030598](https://doi.org/10.3390/rs4030598).

LIPSETT-MOORE, G. J.; WOLFF, N. H.; GAME, E. T. Emissions mitigation opportunities for savanna countries from early dry season fire management. **Nature communications**, v. 9, n. 2247, p. 1-8, 2018. DOI: [10.1038/s41467-018-04687-7](https://doi.org/10.1038/s41467-018-04687-7).

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. **MapBiomas General “Handbook” Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**. Collection 3, Version 1.0, 42p., 2018. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas/base-dados/metodologia/colecao-3_0/1-ATBD-Collection-3-version-1.pdf. Acesso em: 12 ago. 2019.

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. **Plataforma digital de download dos dados do projeto MAPBIOMAS**. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org/pages/downloads>. Acesso em: 01 jul. 2019

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. **Fórum do projeto MapBiomas**. 2020a. Disponível em: <http://forum.mapbiomas.org/>. Acesso em: 08 fev. 2020.

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. **Conheça o MapBiomias – Produtos e notícias**. 2020b. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 27 mai. 2020.

MATAVELI, G. A. V.; SILVA, M. E. S.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. da S.; KAWAKUBO, F. S.; BERTANI, G.; COSTA, J. C.; RAMOS, R. de C.; SILVA, V. V. da. Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 1, p. 125-144, 2018. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-125-2018>

MCKENZIE, D.; GEDALOF, Z. E.; PETERSON, D. L.; MOTE, P. Climatic Change, Wildfire, and Conservation. **Conservation biology**, v. 18, n. 4, p. 890-902, 2004. DOI: [10.1111/j.1523-1739.2004.00492.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00492.x).

MISTRY, J.; BERARDI, A.; ANDRADE, V.; KRAHÔ, T.; KRAHÔ, P.; LEONARDOS, O. Indigenous Fire Management in the Cerrado of Brazil: The Case of the Krahô of Tocantins. **Human Ecology**, 33(3), pp.365-386, 2005. <https://doi.org/10.1007/s10745-005-4143-8>

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Balanço de execução 2016-2020 - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado (PPCerrado) 2016-2020. **Relatório do resultado da implementação da 4ª fase do PPCDAm e 3ª fase do PPCerrado**. 2020. p.107. Disponível em: http://combateadodesmatamento.mma.gov.br/images/Doc_ComissaoExecutiva/Balanco-PPCDAm-e-PPCerrado_2019_aprovado.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação Para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas: Cerrado**. Brasília: MMA, 2011. 200p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Base cartográfica da área de estudo**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 23 mar. 2022.

MMA, Ministério do Meio Ambiente; ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo do Parque Nacional das Sempre-Vivas**. Brasília: 2016. 223p.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **Landsat Science - Visão Geral do Landsat**. 2020. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat/> . Acesso em: 01 jul. 2020.

PAGE, S. E.; SIEGERT, F.; RIELEY, J. O.; BOEHM, H. D. V.; JAYA, A.; LIMIN, S. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. **Nature**, v. 420, n. 6911, p. 61-65, 2002. DOI: [10.1038/nature01131](https://doi.org/10.1038/nature01131).

PIVELLO, V. R. The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**, v. 7, pp. 24–39, 2011. DOI: [10.4996/fireecology.0701024](https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024).

PRAT-GUITART, N.; REIN, G.; HADDEN, R. M.; BELCHER, C. M.; & YEARSLEY, J. M. Effects of spatial heterogeneity in moisture content on the horizontal spread of peat fires. **Science of The Total Environment**, v. 572, p. 1422-1430, 2016. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2016.02.145](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.145).

RUSO, G.; ALENCAR, A.; RIBEIRO, V.; AMORIM, C.; SHIMBO, J.; LENTI, F.; CASTRO, I. Cerrado: A contribuição da savana brasileira para emissões de GEE e soluções climáticas. **Policy Brief: IPAM Amazônia**. 2018. 2p. Disponível em: <https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2018/12/Policy-Brief-Cerrado-COP24-pt.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento de cobertura vegetal do Bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Documento 190. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2007. 33p.

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora**. v. 268:151613. 2020. DOI: [10.1016/j.flora.2020.151613](https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613).

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13118](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118).

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13118](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118).

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13118](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118).

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13118](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118).

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of applied ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018. DOI: [10.1111/1365-2664.13118](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118).

SILVA, L. G. da. Comportamento e efeito do fogo sobre os ecossistemas do bioma Cerrado: modelos baseados em processos. **Tese de Doutorado em Ecologia**. Programa de Pós Graduação em Ecologia: - UnB: 2018.123p.

SILVA, M. L.; SILVA, A. C. Gênese e evolução de turfeiras nas superfícies geomórficas da Serra do Espinhaço Meridional–MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 65-79, 2017. DOI: [10.20502/rbg.v18i1.1058](https://doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1058).

SOARES, T. B. O. **Avaliação de áreas queimadas no Parque Nacional das Sempre-Vivas – MG: Contribuições para a implantação do manejo integrado do fogo**. 2016. 123p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, sob orientação Dr. Bernardo Machado Gontijo e Dr. Gabriel Pereira. 2016.

SPRING, Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. **Software Spring, Versão 5.5.5 (software de computador)**. 2020. INPE: São José dos Campos, SP. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br>. Acesso em: 01 nov. 2020.

USGS – United States Geological Survey. **Imagem de satélite Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI), órbita/ponto 218/072, _20170820 (6R5G4B)**. NASA - USGS. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

Recebido em: 29/03/2023

Aceito para publicação em: 28/08/2023