



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**João Vítor Silva Costa**

**POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO AÉREO E ORBITAL NA ANÁLISE  
DO MANEJO INTEGRADO DO FOGO: UM ESTUDO DE CASO NO PARQUE  
NACIONAL CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO**

**Goiânia**

**2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese

#### 2. Nome completo do autor

João Vitor Silva Costa

#### 3. Título do trabalho

POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO AÉREO E ORBITAL NA ANÁLISE DO MANEJO INTEGRADO DO FOGO: UM ESTUDO DE CASO NO PARQUE NACIONAL CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Eduardo Ferreira, Professor do Magistério**

**Superior**, em 22/08/2023, às 08:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do



Superior, em 22/08/2023, às 08:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Vitor Silva Costa, Discente**, em 22/08/2023, às 16:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3981590** e o código CRC **39EF4587**.

**João Vítor Silva Costa**

**POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO AEREO E ORBITAL NA ANÁLISE  
DO MANEJO INTEGRADO DO FOGO: UM ESTUDO DE CASO NO PARQUE  
NACIONAL CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental.

Linha de pesquisa: Monitoramento e Análise de Recursos Naturais.

Orientador: Manuel Eduardo Ferreira

Co-orientador: Gustavo Nunes Manzon

**Goiânia**

**2023**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Costa, João Vitor Silva

Potencial do Sensoriamento Remoto Aéreo e Orbital na Análise do Manejo Integrado do Fogo [manuscrito] : Um Estudo de Caso no Parque Nacional Chapada dos Guimarães, Mato Grosso / João Vitor Silva Costa. - 2023.

LV, 55 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira; co-orientador Dr. Gustavo Manzon Nunes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2023.

Bibliografia.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, gráfico, tabelas.

1. Incêndio florestal. 2. Cerrado. 3. MIF. 4. Drone. 5. Risco ambiental. I. Ferreira, Manuel Eduardo, orient. II. Título.

CDU 502/504



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **005/2023** da sessão de Defesa de Dissertação de **João Vitor Silva Costa** que confere o título de Mestre em **Ciências Ambientais**, na área de concentração em **Estrutura e Dinâmica Ambiental**.

Aos **vinte e quatro dias do mês de janeiro do ano de 2023**, a partir das **14h**, na sala virtual da plataforma **Google Meet**: <https://meet.google.com/opc-aqeb-yvi>, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "**CONSIDERAÇÕES SOBRE O POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO AEREO E ORBITAL NA ANALISE DO MANEJO INTEGRADO DO FOGO: UM ESTUDO DE CASO NO PARQUE NACIONAL CHAPADA DOS GUIMARÃES**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Manuel Eduardo Ferreira (IESA/UFMG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (IESA/UFMG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Fernando Moreira de Araújo (IESA/UFMG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Gustavo Manzon Nunes, Co-orientador (FENF/PPGCFA/UFMT)**. Durante a arguição os membros da banca sugeriram alteração do título da dissertação. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação tendo sido o candidato sido **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Manuel Eduardo Ferreira**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte e quatro dias do mês de janeiro do ano de 2023**.

## TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

POTENCIAL DO SENSORIAMENTO REMOTO AÉREO E ORBITAL NA ANÁLISE DO MANEJO INTEGRADO DO FOGO: UM ESTUDO DE CASO NO PARQUE NACIONAL CHAPADA DOS GUIMARÃES, MATO GROSSO



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Eduardo Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 24/01/2023, às 18:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Moreira De Araújo, Professor do Magistério Superior**, em 24/01/2023, às 18:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professor do Magistério Superior**, em 24/01/2023, às 18:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3457904** e o código CRC **D981E4C2**.

Referência: Processo nº 23070.002083/2023-48

SEI nº 3457904

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Manuel Eduardo Ferreira, pela dedicação e paciência na orientação desta dissertação. Pelas oportunidades pessoais e profissionais que me foram proporcionadas, pelos ensinamentos, e pela amizade;

Ao professor Dr. Gustavo Nunes Manzon, pela experiência e expertise trazidos para esta pesquisa por meio de sua coorientação;

Aos professores Dr. Fernando Moreira de Araújo e Dra. Karla Maria Silva de Faria, pelas valiosas contribuições para esta pesquisa apontadas no exame de qualificação, e por aceitarem compor a banca de defesa do mestrado;

À Universidade Federal de Goiás (UFG) e ao Programa de pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCIAMB) e todo corpo docente, discente e administrativo pelos ensinamentos, companheirismo e apoio;

Aos docentes, discentes e administrativos do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig), pela rica vivência no dia a dia;

Aos professores Dr. Cleberson Ribeiro de Jesus e Dr. Roberto Nunes Vianconi Souto, pela parceria e apoio fundamental na realização do trabalho de campo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

## RESUMO

O fogo é um elemento de grande protagonismo no Cerrado, que ocorre de forma natural desde os primórdios do bioma, tendo papel importante, inclusive, na manutenção da biodiversidade deste rico ecossistema. Com a intensificação do processo de ocupação antrópica, iniciada em meados da década de 1950, a recorrência de incêndios florestais cresceu demasiadamente, muito em virtude do uso do fogo como ferramenta de manejo. No período de 1985 a 2020, aproximadamente um terço do território do Cerrado passou por algum evento com fogo, com áreas com altíssima recorrência. Foram registrados anos com mais de 10 milhões de hectares queimados. Nos últimos anos os gestores ambientais de áreas protegidas passaram a adotar a prática de queima prescrita não só para a construção de aceiros, mas também como forma de controlar a quantidade de biomassa da vegetação, que é o combustível dos incêndios florestais. Esta e outras práticas compõem o Manejo Integrado do Fogo (MIF). Neste contexto, este projeto visa compreender o potencial do sensoriamento remoto aéreo e orbital na análise do Manejo Integrado do Fogo, empregando séries temporais de imagens de satélite, e dados obtidos in loco por Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS). Os resultados alcançados demonstraram melhor potencial na utilização de RPAS por conta do nível de detalhe dos dados, capaz de fornecer informações a nível de sub-bosque. Esse resultado se faz mais importante quando o manejo de fogo é realizado no início da estação seca, e o controle de biomassa é menor. Vale ressaltar que, mesmo menos eficaz na análise da queima precoce, as imagens de satélite, Sentinel-2, tiveram resultados satisfatórios para analisar a queima nos meses de junho e julho, chegando a registrar correlação entre os dados de  $R^2 = 0,71$ .

Palavras-chave: Incêndio florestal, Cerrado, MIF, Drone, Risco Ambiental.

## **ABSTRACT**

*Fire is an element of great protagonism in the Cerrado. It occurs naturally since the beginning of the biome, playing an important role in the maintenance of this rich ecosystem. With the intensification of the anthropic occupation process, which started in the mid-1950s, the recurrence of forest fires grew excessively, largely due to the use of fire as a conversion tool. In the period from 1985 to 2020, approximately one third of the Cerrado territory experienced some fire event, with areas with very high recurrence. Years with more than 10 million hectares burned have been recorded. In recent years, environmental managers have started to adopt the prescribed burning practice, not only for building firebreaks, but also as a way to control the amount of vegetation biomass, which is the fuel for forest fires. This and other practices make up the Integrated Fire Management. In this context, this project aims to understand the potential of aerial and orbital remote sensing in the analysis of Integrated Fire Management, using time series of satellite images, and data obtained in loco by the Remotely Piloted Aircraft System (RPAS). The results achieved showed better potential in the use of Drones due to the level of detail of the data, capable of providing information at the understory level. This detail becomes more important when fire management is carried out at the beginning of the dry season, and biomass control is lower. It is worth mentioning that, even less effective in analyzing early burning, the satellite images, Sentinel-2, had satisfactory results for analyzing burning in the months of June and July, registering a correlation between data of  $R^2 = 0.71$ .*

*Key-words: Forest Fire, Cerrado, Integrated Fire Management, Drone, Environmental Risk.*

## SUMÁRIO

1	Introdução	7
2	Fundamentação teórica	10
2.1.	O fogo e a vegetação do cerrado	10
2.2.	MapBiomias	12
2.2.1	MapBiomias Fogo	12
2.3	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas ( <i>RPAS</i> )	12
2.3.1	Sensores embarcados	13
2.4	Manejo Integrado do Fogo	14
3	Materiais e Métodos	16
3.1	Área de estudo	16
3.2	Sensores e dados utilizados no estudo	17
3.2.1	Dados de sensores a bordo de satélites e bases de dados	17
3.2.2	Sensor multiespectral - Micasense Altum	18
3.3	Desenho experimental	19
4	Resultados e Discussões	22
4.1	Histórico de incêndios no Cerrado	22
4.2	Parque Nacional Chapada dos Guimarães	27
5	Considerações Finais	51
6	Referências	53

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, é um dos ‘*hotspots*’ para a conservação da biodiversidade mundial. Estima-se que mais da metade dos seus 2 milhões de km<sup>2</sup> foram convertidos em pastagens plantadas e culturas anuais (SANO, 2019). É um complexo bioma, com semelhanças ecológicas e fisionômicas com outras savanas presentes na África e Austrália (EITEN, 1994). Sua flora engloba espécies de formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO e WALTER, 1998), sendo considerada a mais rica dentre as savanas do mundo, com alto nível de endemismo (MENDONÇA et al., 1998).

Assim como nas demais savanas, o Cerrado vem sendo constantemente afetado pelo fogo (COSTA e FERREIRA, 2017), com estreita relação com a expansão das atividades agrícolas. Ou seja, é notável a correlação entre incêndios e desmatamentos no Cerrado, dando espaço a grandes monoculturas (ARAUJO et al., 2019). As práticas de manejo, especialmente na pecuária, também são reconhecidas como uma das principais causas dos incêndios (ARAUJO et al., 2012), buscando-se um questionável revigoramento das gramíneas exóticas, pelo menos num primeiro momento.

No entanto, há um consenso entre os pesquisadores de que as características climáticas do bioma Cerrado são determinantes para a ocorrência de tantos eventos de queimadas. O bioma é caracterizado por duas estações marcantes, uma chuvosa entre os meses de outubro e março, e outra seca entre os meses de maio e setembro (SILVA et al., 2008). Nos meses de seca, período no qual ocorre a maioria dos incêndios, a baixa umidade do ar, ventos e o acúmulo de biomassa seca favorecem a uma rápida e descontrolada propagação do fogo.

Especificamente sobre o acúmulo de biomassa (material combustível), favorecido pelas características climáticas deste bioma, trata-se de um fator de grande relevância para a ocorrência dos incêndios, devido à presença marcante de gramíneas em todas as classes de fitofisionomias, em maior ou menor proporção. As gramíneas tornam-se altamente inflamáveis durante o período da seca pela quantidade de combustível fino e aerado que ela produz (RIBEIRO e WALTER, 1998).

As queimadas constituem uma questão extremamente complexa, de difícil mitigação e monitoramento. A frequência e recorrência das queimadas podem exercer influência na estrutura

das comunidades, na dinâmica de nutrientes dos solos, assim como no material particulado e carbono emitidos para a atmosfera, contribuindo com a emissão de gases de efeito estufa (GEE), bem como na alteração dos estoques e fluxos de carbono (GONÇALVES et al., 2011). Contrapondo a ineficiente política de exclusão total do fogo, em 2014, de forma inédita no Brasil, foi proposto o primeiro programa de Manejo Integrado do Fogo (MIF) em Unidades de Conservação (UC) do Cerrado (SCHMIDT et al., 2016).

Uma das variáveis cruciais para avaliar o impacto dos incêndios florestais é o tamanho da área afetada pelo fogo. Para a determinação desta variável, é necessário a utilização de dados provenientes de sensores remotos, em geral orbitais, que permitem o monitoramento temporal e a espacialização destes eventos em diferentes escalas geográficas (ANDERSON et al., 2005). Entre os vários sensores utilizados para a detecção de focos de calor e áreas queimadas, ressalta-se o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), desenvolvido para diferentes análises, entre elas a cicatriz de fogo através do produto MCD45A1 (área queimada) (ARAUJO, 2012).

Mais recentemente, dentro da iniciativa MapBiomas, o “MapBiomas Fogo” está mapeando as cicatrizes de fogo no Brasil utilizando mosaicos de imagens Landsat com resolução espacial de 30 metros; uma evolução frente aos dados MODIS, ainda predominante nos estudos sobre incêndios, com resolução espacial de 500 metros.

Além do monitoramento das áreas queimadas, informações precisas sobre a composição da vegetação, estrutura, volume, crescimento e produção são fundamentais e podem ser extraídos a partir de dados de Sensoriamento Remoto (FERREIRA et al., 2008). Embora haja uma série de aplicações do sensoriamento remoto no monitoramento da vegetação, alguns desafios técnicos podem ser encontrados, como, por exemplo, o elevado tempo de revisita dos satélites (na escala de dias), baixa resolução espacial, elevado custo nos levantamentos com aeronaves tripuladas e ainda a alta sensibilidade às nuvens (barreira aos imageamentos ópticos) e dificuldade de acesso em regiões remotas.

Como resposta a estes desafios, nos últimos anos têm crescido a utilização dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) para aquisição de dados florestais. Dentre os benefícios, pode-se citar os baixos custos operacionais, versatilidade e flexibilidade de operação, variedade de sensores (como câmeras ópticas e outros sensores ambientais), além da qualidade

das imagens, de altíssima resolução espacial. Todavia, a utilização dessa tecnologia é restrita a pequenas amostras, devido a limitação técnica dos equipamentos, tais como autonomia de baterias e alcance do sinal do rádio (MUNARETTO, 2017).

As imagens obtidas por sensores digitais padrão RGB (o mais comum) fornecem informações valiosas para aplicações florestais, destacando a estrutura lenhosa e o contorno dos alvos. Porém, quando o objetivo está relacionado com propriedades biofísicas da vegetação, as informações obtidas na região do Infravermelho Próximo (NIR) do espectro da luz são essenciais, diferenciando a reflectância de plantas saudáveis daquelas mortas ou doentes (tanto de espécies nativas quanto exóticas) (TANG e SHAO, 2015).

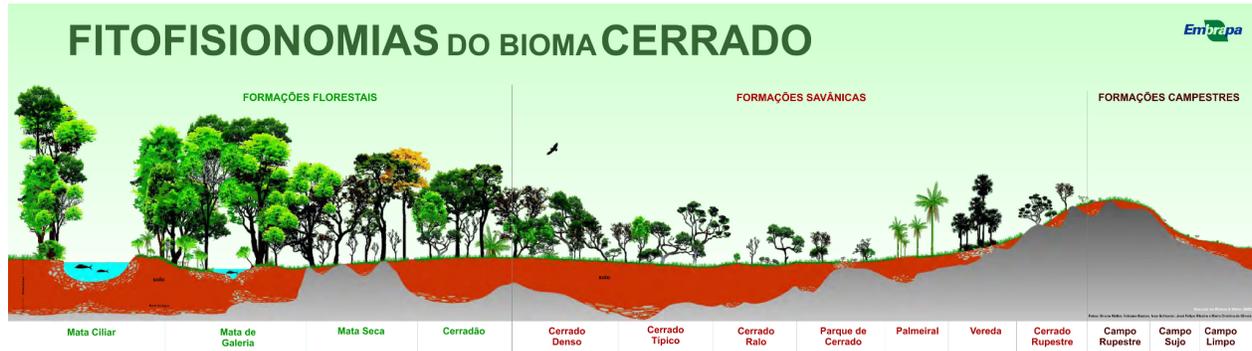
Neste contexto, a referida pesquisa buscou, no conjunto de técnicas e tecnologias do sensoriamento remoto aéreo e orbital, compreender o comportamento da vegetação do Cerrado em relação à queima prescrita realizada em períodos diferentes como apoio para a aplicação do manejo integrado de fogo em UCs do bioma Cerrado.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. O fogo e a vegetação do Cerrado**

A vegetação do Cerrado pode ser dividida em três grupos de fisionomias: florestal, savânica e campestre (figura 1). Nas áreas de floresta, há a predominância de espécies arbóreas com formação de dossel, que pode ser contínuo ou descontínuo. As áreas de savana são formações com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato de gramíneas, sem formação de dossel contínuo. Já o campo refere-se a áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, sem a presença de árvores na paisagem (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Figura 1. Fitofisionomias do bioma Cerrado.



Fonte: EMBRAPA.

A disponibilidade hídrica e a profundidade do solo, bem como sua disponibilidade de nutrientes, são alguns dos fatores determinantes para a ocorrência de cada tipo de formação do Cerrado. As formações florestais estão associadas a regiões com boa disponibilidade hídrica, às margens de rios e lagos, e em solos profundos. As áreas de savana e campo, por outro lado, possuem ocorrência associada à baixa disponibilidade hídrica e a solos rasos e com baixo teor de nutrientes. Nestas regiões, o fogo exerce maior influência na dinâmica e na estrutura das populações da vegetação (EITEN, 1998).

O fogo atua na hierarquia de competição das comunidades vegetais pela remoção da serapilheira, controlando as espécies dominantes que podem servir como barreira para o estabelecimento e persistência de outras espécies. As plantas do Cerrado possuem adaptações que possibilitam sobreviver e/ou regenerar rapidamente a eventos com fogo. Outrossim, algumas espécies apresentam mecanismos reprodutivos ligados ao fogo, como a floração, abertura de frutos e a quebra da dormência de sementes (FIDELIS e PIVELLO, 2011).

A forma tortuosa das árvores e arbustos, típicos do Cerrado, é outro atributo ligado à presença frequente do fogo, além das cascas grossas que protegem seus tecidos internos das altas temperaturas alcançadas durante os incêndios. Outra característica dessas plantas é o maior acúmulo de biomassa na porção subterrânea, que chega a ser maior que na biomassa aérea. Assim, algumas espécies protegem seus nutrientes durante a passagem do fogo, e dos longos períodos de seca, alocando-se nas porções subterrâneas (GONÇALVES et al, 2011).

Além das adaptações morfológicas e fisiológicas nas plantas do Cerrado, o fogo também exerce influência nos processos ecológicos, estimulando o rebrotamento, a ciclagem de nutrientes e a frutificação (FIDELIS e PIVELLO, 2011). Eventos isolados têm pouco efeito sobre a vegetação lenhosa; mas quando ocorrem incêndios frequentes, os efeitos podem ser intensificados, causando redução nos estoques de carbono na vegetação lenhosa (GOMES et al., 2020).

A frequência de fogo pode alterar de maneira significativa a fitofisionomia, pois áreas frequentemente queimadas tendem a se tornar mais abertas e com maior dominância de gramíneas, já que a alta recorrência afeta negativamente o estabelecimento e a sobrevivência de árvores jovens e positivamente o estrato herbáceo, através do depósito de cinzas e nutrientes na superfície do solo. Da mesma forma, a ausência do fogo geralmente promove um aumento da cobertura lenhosa, levando à perda de espécies herbáceas e a mudanças na fisionomia da vegetação (KLINK e MACHADO, 2005).

## **2.2. MapBiomias**

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias) é uma iniciativa para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (SOUZA JR, 2017). Contando com uma rede colaborativa de especialistas em cada bioma, incluindo analistas em usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciências da computação, foi possível realizar a complexa tarefa de realizar o processamento de um volume grande de dados, que teve como base a plataforma *Google Earth Engine (GEE)*.

O mapeamento tem sido realizado a partir de imagens LANDSAT, que possuem resolução espacial de 30 metros, com aplicações em escala de 1:50.000 e 1:100.00. Atualmente na coleção 6, o MapBiomias apresenta uma série histórica de mapas de uso e cobertura da terra para todo o Brasil, cobrindo o período de 1985 a 2020, com perspectivas de atualizações com novas coleções.

### 2.2.1. MapBiomas Fogo

O MapBiomas Fogo surge no escopo do projeto MapBiomas, sendo uma iniciativa inédita de mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil, realizado de forma colaborativa entre instituições, empregando dados de satélites (MODIS e Landsat) e algoritmos de inteligência artificial na plataforma *Google Earth Engine*, o que possibilita o processamento de um grande volume de dados. A coleção 1 conta com dados de cicatriz de fogo acumulado anual, mensal e a frequência de incêndios entre o período de 1985 e 2020.

### 2.3. Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS)

Assim como tantas outras tecnologias, os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), popularmente chamados de *drones*, tiveram uma origem militar. Contudo, com o rápido salto tecnológico, passaram a ser incluídos nas mais diversas aplicações civis e científicas. Aliando flexibilidade de uso, um rico conjunto de instrumentos sensores, a um custo relativamente baixo de operação, os *drones* passaram a ser empregados no levantamento de recursos naturais, monitoramento do uso do solo, planejamento urbano e rural, agricultura de precisão, dentre outros (FAGUNDES e IESCHECK, 2019).

Os RPAS podem ser categorizados de diversas formas, tal como tamanho/peso, aplicação, estrutura construtiva, fonte de alimentação dos motores (elétrico ou a combustão), etc. Estes também podem ser subdivididos em asa-fixa, em que a decolagem e o pouso ocorrem na horizontal, semelhante aos aviões, ou em asa-rotativa, em que a decolagem e o pouso ocorrem na vertical, como os helicópteros, operando com maior flexibilidade, porém com menor autonomia de voo. Para completar esta lista, há também os RPAS híbridos, que misturam decolagem e pouso na vertical, e voo na horizontal, conhecidos como VTOL (Vertical Take Of and Landing).

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), um dos órgãos reguladores das operações com RPAS no Brasil, divide estes equipamentos em 3 classes, considerando o peso de decolagem: classe 3, para equipamentos até 25 kg, classe 2 para equipamentos até 150 kg, e a classe 1, para equipamentos acima de 150 kg. A ANAC estabelece condições para a operação de drones através do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94 (ANAC, 2017).

### 2.3.1. Sensores embarcados

Com o avanço computacional e a miniaturização de processadores, alguns sensores, que antes só eram compatíveis com plataformas orbitais, passaram a integrar sistemas de plataformas aéreas. Existe uma ampla gama de sensores disponíveis no mercado. Os sensores passivos registram a energia eletromagnética refletida pelos alvos, como nas câmeras espectrais padrão RGB (i.e., faixas na luz visível, com as bandas Red, Green e Blue), câmeras multiespectrais, que incluem faixas no infravermelho próximo (NIR) e médio, câmeras hiperespectrais, que trazem centenas de bandas espectrais (na faixa óptica) e as câmeras termais (no infravermelho termal). Já os sensores ativos, como Radares imageadores e sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*), emitem o próprio “sinal” e detectam a intensidade de seu retorno (NETO e BREUNIG, 2019).

As câmeras RGB, mais populares, são geralmente de pequeno porte, gerando imagens de alta resolução espacial; após processadas, oferecem produtos como ortomosaicos RGB e Modelos Digitais de Superfície (MDS), que recriam o espaço tridimensional, excelentes para análises topográficas (FAGUNDES e IESCHECK, 2019).

Os sensores multiespectrais e hiperespectrais começaram a ser utilizados em *drones* mais recentemente, devido ao maior peso, maior consumo de energia e preços elevados. Estes sensores possuem ampla aplicação em estudos de agricultura e ecologia, com capacidade de obter bandas múltiplas como vermelho, verde, azul, bandas do intervalo do visível, borda do vermelho (Red-Edge) e NIR, permitindo caracterizar melhor os fenômenos na superfície (TANG e SHAO, 2015).

Por sua vez, os sensores hiperespectrais são capazes de registrar centenas de bandas, ao contrário dos sensores multiespectrais, com intervalos de onda muito específicos. Esse tipo de dado fornece ainda mais informações espectrais, contribuindo para o monitoramento da vegetação nativa, por exemplo, ao facilitar a distinção de espécies, bem como medir propriedades da cobertura vegetal associada à sua estrutura e eventuais distúrbios no meio (EISMANN, 2012).

Por fim, os sensores de varredura a laser são dispositivos de medição que, por meio da tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), geram informações geométricas tridimensionais. Essas informações são obtidas a partir do princípio de medição de tempo de

percurso do sinal (*time-of-flight*), registrando-se o tempo em que o sinal leva para ser refletido na superfície e retornar ao instrumento, determinando a distância entre o sensor e o objeto. Por conseguir penetrar no dossel da vegetação, os dados gerados pela varredura a laser geram nuvens de pontos 3D mais detalhadas que por fotogrametria tradicional (FERREIRA et al, 2019).

#### **2.4. Manejo Integrado do Fogo (MIF)**

No que diz respeito a conservação de áreas naturais do Cerrado, o manejo do fogo se dá principalmente pela realização de queimas prescritas e/ou não combate a queimas naturais (SCHMIDT et al., 2016). Por muitos anos, a política adotada pela gestão das Unidades de Conservação era a de exclusão do fogo. A exclusão de fogo em áreas em que o fogo ocorre com frequência, principalmente em vegetações pirofíticas (que toleram o fogo), podem causar mudanças na estrutura e na composição da vegetação (SCHMIDT et al., 2016).

Esta política de ‘fogo zero’ é incompatível com a ecologia e a história evolutiva do Cerrado. Em conformidade a isto, a tentativa de exclusão do fogo raramente tem êxito por muitos anos. Quando os incêndios ocorrem, boa parte no final da estação seca, atingem grandes extensões, por conta do acúmulo de material combustível, e frequentemente afetam vegetações mais sensíveis ao fogo, como veredas e matas de galeria, que não possuem adaptações para sobreviver a estes eventos de queimas frequentes (FRANÇA 2010, PEREIRA et al. 2014).

O Manejo Integrado do Fogo (MIF) é definido pela Política Nacional de Manejo Integrado de Fogo (PL-11276/18) como o modelo de planejamento e gestão que associa aspectos ecológicos, culturais, socioeconômicos e técnicos na execução, na integração, no monitoramento, na avaliação e na adaptação de ações relacionadas com o uso de queimas prescritas e controladas e a prevenção e o combate aos incêndios florestais. Com isso, espera-se alcançar redução de emissões de material particulado e gases de efeito estufa, à conservação da biodiversidade e à redução da severidade dos incêndios florestais, respeitando o uso tradicional e adaptativo do fogo.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Área de estudo**

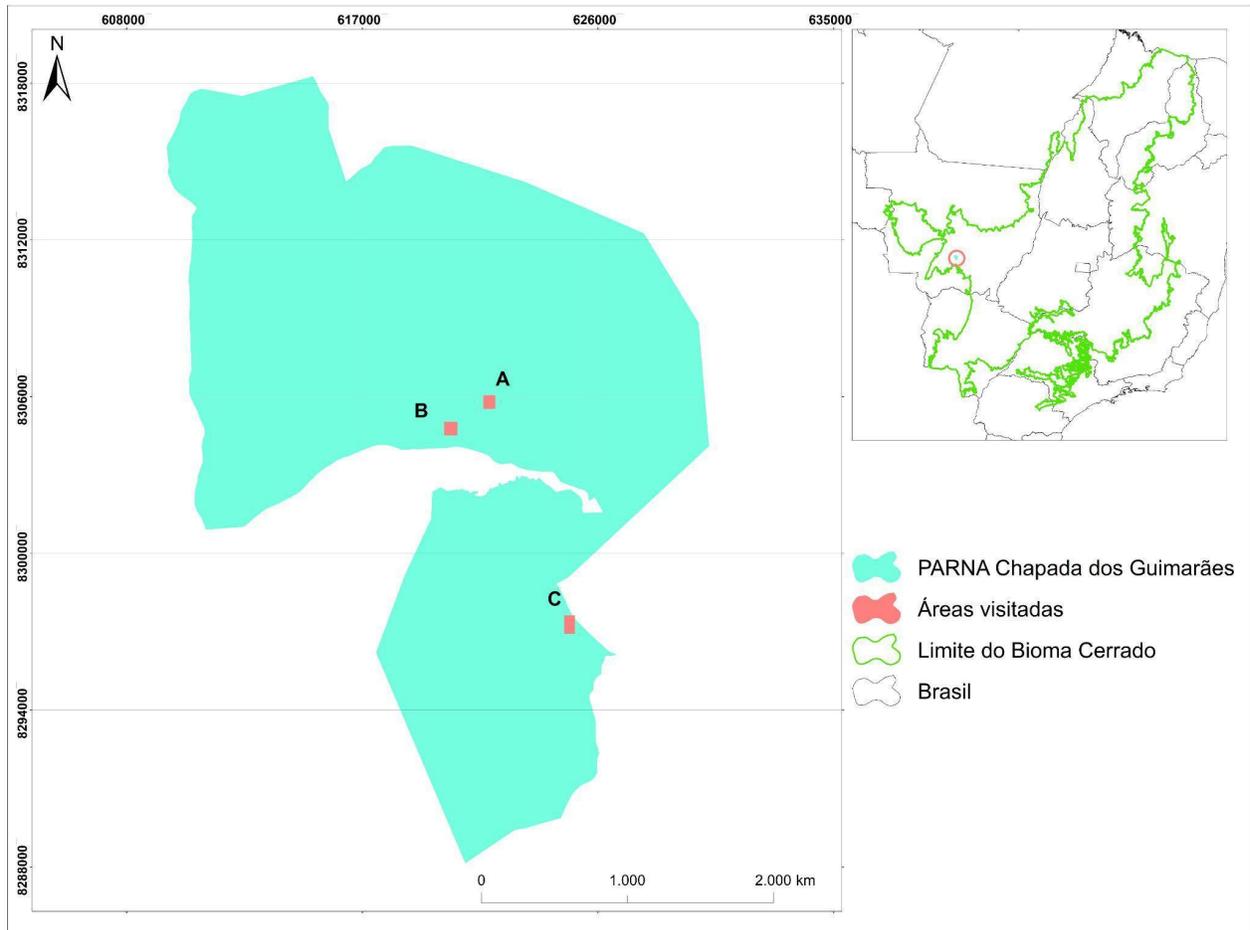
A realização desta pesquisa se deu em duas escalas. A primeira delas abrangeu o Cerrado, bioma com aproximadamente 2.045.000 km<sup>2</sup>, presente nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Pará, Paraná, São Paulo e Distrito Federal. Nesta área total, foi realizada uma análise sobre as ocorrências de queimadas, entre 1985 e 2020.

A segunda escala, local, trata-se do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães (PNCG). O parque está localizado há cerca de 70 km da capital do estado do Mato Grosso, Cuiabá, contendo 326,3 km<sup>2</sup>. Assim como as demais áreas do Cerrado, o PNCG possui riquíssima diversidade de fauna e flora com alto endemismo além de belezas cênicas que fazem desta área um dos maiores atrativos turístico do estado do Mato Grosso.

Segundo o Plano de Manejo do PNCG (2009), a área possui uma divisão quanto a caracterização climática. Esta divisão é entre as subunidades de clima mesotérmico dos topos de cimeiras dos chapadões, com precipitação total variando entre 1650 a 1900 mm anuais e temperaturas média entre 22,5 e 23°C, e o clima mesotérmico subúmido das depressões e pantanais, com precipitação total entre 1300 e 1400 mm anuais e temperaturas média entre 24,9 e 25,6°C.

Dentro do PNCG, foram selecionadas três áreas que passaram por manejo de fogo pela gestão do parque no ano de 2021 (Figura 2).

Figura 2. Localização da área de estudo no contexto do Bioma Cerrado e as três áreas amostrais: A, B e C.



Fonte. Elaborado pelo autor.

Estas áreas amostrais foram selecionadas baseando-se nos seguintes critérios: período do ano em que a área foi manejada com fogo, a presença predominante da fitofisionomia de cerrado sensu stricto e o histórico de incêndios.

A área A foi queimada em meados da segunda quinzena de maio de 2021, sendo a área com queima mais precoce analisada nesta pesquisa, e histórico de baixa ocorrência de incêndios, com vegetação de cerrado típico.

A área B também de vegetação de cerrado típico e de baixa ocorrência de incêndios, foi manejada com fogo na primeira semana de julho de 2021, sendo a área com a queima mais tardia analisada.

Por fim, a área C também com vegetação de cerrado típico, passou por manejo no final do mês de junho, e ao contrário das outras duas áreas, esta está localizada em uma das regiões do parque com maiores reincidências de incêndios.

### **3.2. Sensores e dados utilizados no estudo**

#### **3.2.1. Dados de sensores a bordo de satélites e bases de dados**

Foi obtido dados de cicatriz de fogo, do MapBiomas Fogo, para o bioma cerrado entre os anos de 1985 e 2020. Os dados, gerados com a calibração de algoritmos de inteligência artificial, utiliza a série temporal Landsat, que possui maior resolução espacial (30 metros), quando comparado aos produtos MODIS (500 metros - 1 km). Além das cicatrizes de fogo anuais, foram obtidos também provenientes do MapBiomas Fogo, os dados de cicatriz de fogo mensal e a recorrência de área queimada para o período analisado. Estes dados foram baixados pela plataforma *GEE*.

Além dos dados do MapBiomas Fogo, foram obtidas uma série de imagens Sentinel-2. O Sentinel-2 é uma missão imageadora composta por duas plataformas, o Sentinel-2A e Sentinel-2B, com resolução espacial de 10 metros, para as bandas no visível e no infravermelho. Foram utilizadas ao todo 7 cenas do satélite Sentinel-2. As imagens, da cena 21LXD, são das datas 11/05/21, 05/06/21, 20/06/21, 30/06/21, 10/07/21, 19/08/21 e 18/09/21. As cenas foram utilizadas para acompanhar o estágio das áreas antes e após a passagem do fogo. Com estas imagens, também foi gerado índice de vegetação NDVI.

#### **3.2.2. Sensor multiespectral - Micasense Altum**

Para obtenção dos dados em campo foi utilizado o sensor multiespectral Micasense Altum, embarcado em drone multirrotor DJI Matrice 100. A câmera multiespectral Altum opera com 5 obturadores ópticos, e um par termal. As bandas obtidas, além da termal, são: vermelho, verde, azul, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. Na figura 3 está a relação de comprimento de onda das bandas do sensor Micasense Altum. Os obturadores ópticos operam com a distância focal de 7,84 mm e campo de visão (FoV) de 50,2° x 38,4°, o que possibilita uma obtenção de dados com aproximadamente 5,3 cm/px de resolução espacial.

Figura 3. Relação do comprimento das bandas espectrais do sensor Micasense Altum.

Banda	Centro	Comprimento
Azul	475 nm	20 nm
Verde	560 nm	20 nm
Vermelho	668 nm	10 nm
Infravermelho de ondas curtas	717 nm	10 nm
Infravermelho próximo	840 nm	40 nm
Termal	11 $\mu$ m	6 $\mu$ m

Fonte. Micasense.

### 3.3. Desenho experimental

A partir da iniciativa MapBiomas Fogo (<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/fogo>) foram compiladas as estatísticas mensais e anuais e adquiridos, através da plataforma GEE (<https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkit-fire.js>), os arquivos raster com as cicatrizes de fogo anuais e mensais, e a recorrência de área queimada para o período de 1985 a 2020. Estes dados foram recortados, posteriormente, para a área do PNCG. Os arquivos raster foram recortados e convertidos no software ArcMap 10.4.1, por meio do *ArcToolBox*, utilizando as ferramentas de *Extract by mask* e *Conversion*.

Para compreender melhor a recorrências de incêndios, as cicatrizes de fogo mensais foram agrupadas em 4 grupos: janeiro a março, abril a julho, agosto a outubro e novembro a dezembro. Este agrupamento foi elaborado levando em consideração os períodos de chuva, e agrupando os meses de agosto, setembro e outubro, que são os meses mais críticos em relação a ocorrências de incêndios. Após realizar o cálculo dos polígonos de cicatriz de fogo, verificou-se

a repetição destas áreas queimadas nos quatro anos seguintes, que é o período médio em que a vegetação savânica recupera sua biomassa.

Ainda com a finalidade de compreender melhor a ocorrência dos incêndios florestais, agora focado na área do PNCG, foram obtidos dados de precipitação das três estações meteorológicas mais próximas ao parque: estação 83363, localizada no distrito de São Vicente da Serra, no município de Santo Antônio de Leverger-MT, estação 83361, localizada na capital do Mato Grosso, Cuiabá, e a estação 83309, localizada no município Diamantino-MT. As estações estão respectivamente à cerca de 63 km, 37 km e 129 km de distância da sede do parque.

Os dados de precipitação mensal e anual foram tabulados, utilizando a ferramenta *microsoft office web*, e foi calculado a média destas três estações. Os dados de precipitação observados compreendem o período de 2001 a 2020. Não foram observados dados anteriores por conta da data de operação da estação São Vicente, que se iniciou no final da década de 1990.

Para a realização desta pesquisa, na semana do dia 16 a 20 de agosto de 2021, foi realizado trabalho de campo no PNCG. Dentro do parque, foram selecionadas três áreas que foram submetidas a incêndios controlados. Esta ação, que foi conduzida por analistas do ICMBio e brigadistas da região, é uma das ações que compõe o conjunto de estratégias do MIF empregados pela gestão do parque. Na primeira área foi realizada a queima mais precoce, no final de maio de 2021. Na segunda área, a queima foi mais tardia, no início de julho de 2021. E a terceira área, a queimada ocorreu no final de junho de 2021. Todas as queimadas praticadas no contexto do MIF, visando conter as queimadas criminosas e descontroladas nos meses seguintes.

As áreas selecionadas foram sobrevoadas com um drone multi-rotor, modelo Matrice 100 da DJI, embarcado com um sensor multiespectral modelo Altum, da empresa norte-americana Micasense. Cada voo durou aproximadamente 20 minutos, cobrindo cerca de 45 hectares em cada área. Os voos, planejados e executados com o aplicativo *Litchi*, foram realizados com altura de 120 metros em relação ao solo, com sobreposição longitudinal e lateral de 80% entre as fotos.

Para garantir melhores resultados, foram instalados quatro pontos de controle em cada área sobrevoada. Os pontos foram marcados no solo com a junção de dois retângulos brancos formando uma seta em 90°. Para o registro das coordenadas foi utilizado um GPS Geodésico Topcon, modelo HiperLite +. As coordenadas registradas com este equipamento foram tratadas

no serviço online para pós-processamento de dados GNSS, do IBGE e depois processadas utilizando os softwares *Topcon Tools* e *Topcon Link*. Os instrumentos utilizados no trabalho de campo podem ser observados na figura 4.

Figura 4. Instrumentos utilizados em campo. (A) Rádio controle do drone Matrice 100. (B) Drone Matrice 100 com o sensor Altum embarcado. (C) GPS Geodésico. (D) Ponto de controle.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As imagens obtidas foram processadas nos softwares Pix4d Mapper 4.6.4. Os mosaicos obtidos com o processamento ficaram com resolução espacial no terreno (GSD – Ground Sampling Distance) de aproximadamente 6 cm/pixel. Os produtos obtidos neste processamento, além dos mosaicos ortorretificados, foram os modelos digitais de terreno (MDT), modelos digitais de superfície (MDS) e o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI).

Os mosaicos ortorretificados com composição cor verdadeira foram utilizados para gerar os polígonos de identificação das três áreas amostrais e sua divisão entre a parcela queimada e a parcela não queimada (controle). Com os produtos altimétricos em mãos, MDT e MDS, foi realizada a operação simples de subtração entre os produtos para obtenção do Modelo de Altura de Dossel (MAD). Também encontrado na literatura como Modelo Digital de Altura de Dossel - MDAD - (REIS, 2018), e Modelo Digital de Copas - MDC - (BOA MORTE et. al., 2020), este

modelo nivela o dado e, sem a influência do terreno, permite observar a altura da vegetação na área observada.

Com o índice de vegetação NDVI, foi realizada a classificação das três áreas utilizando as seguintes classes: solo exposto, vegetação seca e vegetação verde. A classificação foi realizada extraindo feições em quebras naturais a partir do índice de vegetação que varia de -1 a 1, sendo os valores mais próximo de -1 associados a solos e corpos d'água enquanto os valores mais próximos de 1 associados a maior presença de clorofila, logo, a vegetação saudável (BHANDARI et. al., 2012). Para cada área, foi realizado o cálculo de área de cada classe, separando as áreas queimadas das áreas controle. À fim de identificar a altura média de cada classe, foi realizado um cruzamento com o MAD e a classificação baseada no NDVI.

Além das imagens obtidas com drone, também foram utilizadas imagens Sentinel-2. Foi gerado índice NDVI das 7 cenas com a finalidade de acompanhar a vegetação nas áreas selecionadas que foram e não foram queimadas. As datas das cenas foram selecionadas levando-se em consideração o período em que as áreas foram queimadas, para que se tivesse ao menos uma cena de antes do fogo e uma após o fogo. Uma das cenas selecionadas, da data de 19/08/21, foi usada para comparar com os dados obtidos com o drone, por ser a data mais próxima à data dos voos: 17/08 e 18/08 de 2021.

Para comparar os produtos obtidos com drone e os produtos provenientes do Sentinel-2 foi realizado a comparação da média do NDVI por estatísticas zonais, obtendo a média de NDVI para as áreas amostrais separando as áreas controle e áreas queimadas. Ainda comparando estes resultados, 50 pontos foram criados em cada umas das três áreas e assimilado o valor de NDVI do pixel em que cada ponto está localizado. Cada ponto anotou os valores do pixel do NDVI obtido com o drone e do pixel obtido com a cena Sentinel-2. Os pontos foram identificados com as classes obtidas pela classificação a partir do NDVI.

Para realizar uma melhor comparação entre o dado obtido com drone e o dado obtido com a imagem Sentinel-2, além dos pontos, foi gerado um buffer de 5 metros nestes pontos amostrais para realizar a leitura também dos pixels vizinhos, por meio de estatística zonal. O valor do buffer de 5 metros foi estabelecido para que o valor do valor fosse o mais próximo do tamanho do pixel da imagem Sentinel-2. Os pontos foram plotados em um gráfico de dispersão, e foram calculados os coeficientes de correlação (R), e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

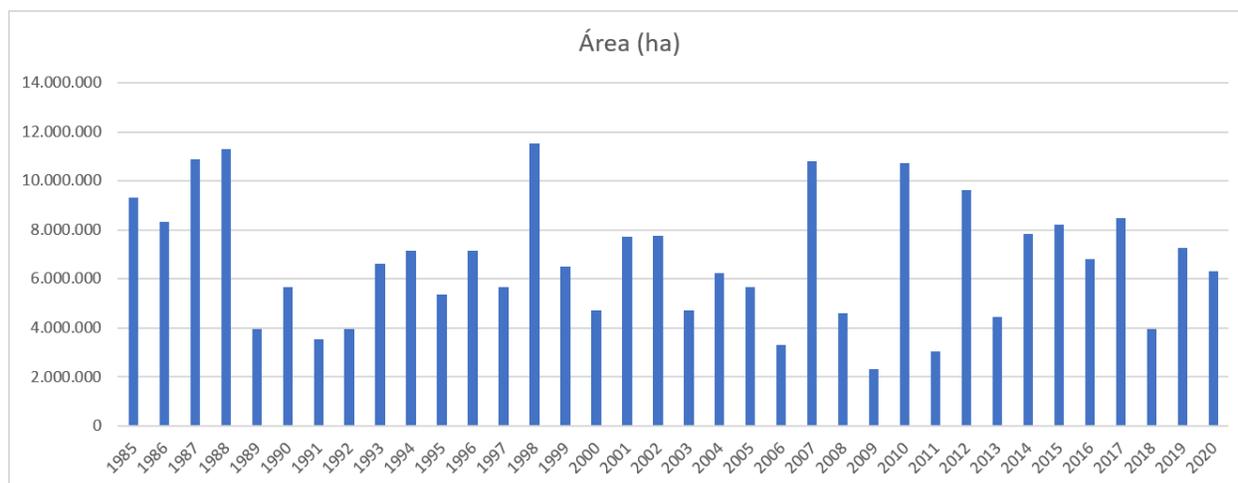
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Histórico de incêndios no Cerrado

Analisando-se os dados de cicatriz de fogo para todo o bioma Cerrado, foi compilado a quantidade de área queimada por ano no período observado (1985 – 2020). Destacam-se negativamente os anos de 1987, 1988, 1998, 2007 e 2010, nos quais, e ao todo, mais de 10 milhões de hectares foram queimados. Ao observar o gráfico na figura 5, pode-se observar uma tendência de aumento e redução na área queimada por ano.

Os dados de área queimada mensal mostram os meses mais afetados por incêndios florestais. Agosto, setembro e outubro são os meses em que o Cerrado mais sofre com o fogo, com destaque para o mês de setembro (Figura 6). Em 2010, por exemplo, mais de 6 milhões de hectares foram queimados apenas no mês de setembro, sendo um dos anos de maior registro.

Figura 5. Gráfico com a relação de área queimada anual no bioma Cerrado, entre 1985 e 2020.



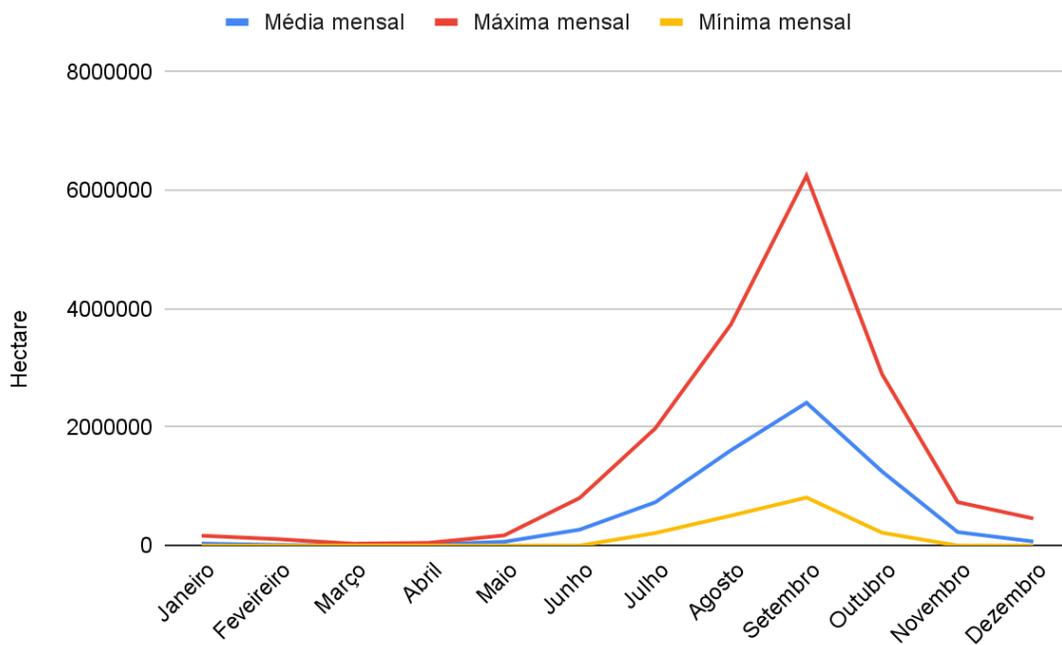
Fonte dos dados: MapBiomas Fogo. Elaborado pelo autor.

O clima no bioma Cerrado, um dos fatores determinantes para ocorrências de incêndios, é resultante de complexas interações entre distintos níveis da atmosfera e as características da superfície local, que aliadas a fatores e elementos climáticos, condicionam uma circulação atmosférica sazonal, típica das estações seca e úmida (NASCIMENTO et. al., 2021).

Caracterizar o Cerrado é uma tarefa complexa, por se tratar de um bioma tão extenso. Enquanto a variação das temperaturas ocorre com relação à latitude, de forma decrescente em sentido norte a sul, a variação das precipitações ocorre especialmente como resposta da posição geográfica e da atuação dos sistemas atmosféricos responsáveis pelo transporte de umidade e formação de chuvas (NASCIMENTO e NOVAIS, 2020). Apesar disto, a marcante sazonalidade das chuvas está presente em todo o bioma.

Observando as normais climatológicas de 1981 até 2010, Nascimento e Novais (2020) observaram que os períodos entre os meses de maio e agosto registram médias mensais abaixo de 40mm, chegando a não registrar nenhuma precipitação, setembro é apontado como período de transição entre as estações, e outubro à abril, com precipitação média superior a 81mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos.

Figura 6. Média, máxima e mínima área queimada por mês no bioma Cerrado, entre 1985 e 2020.



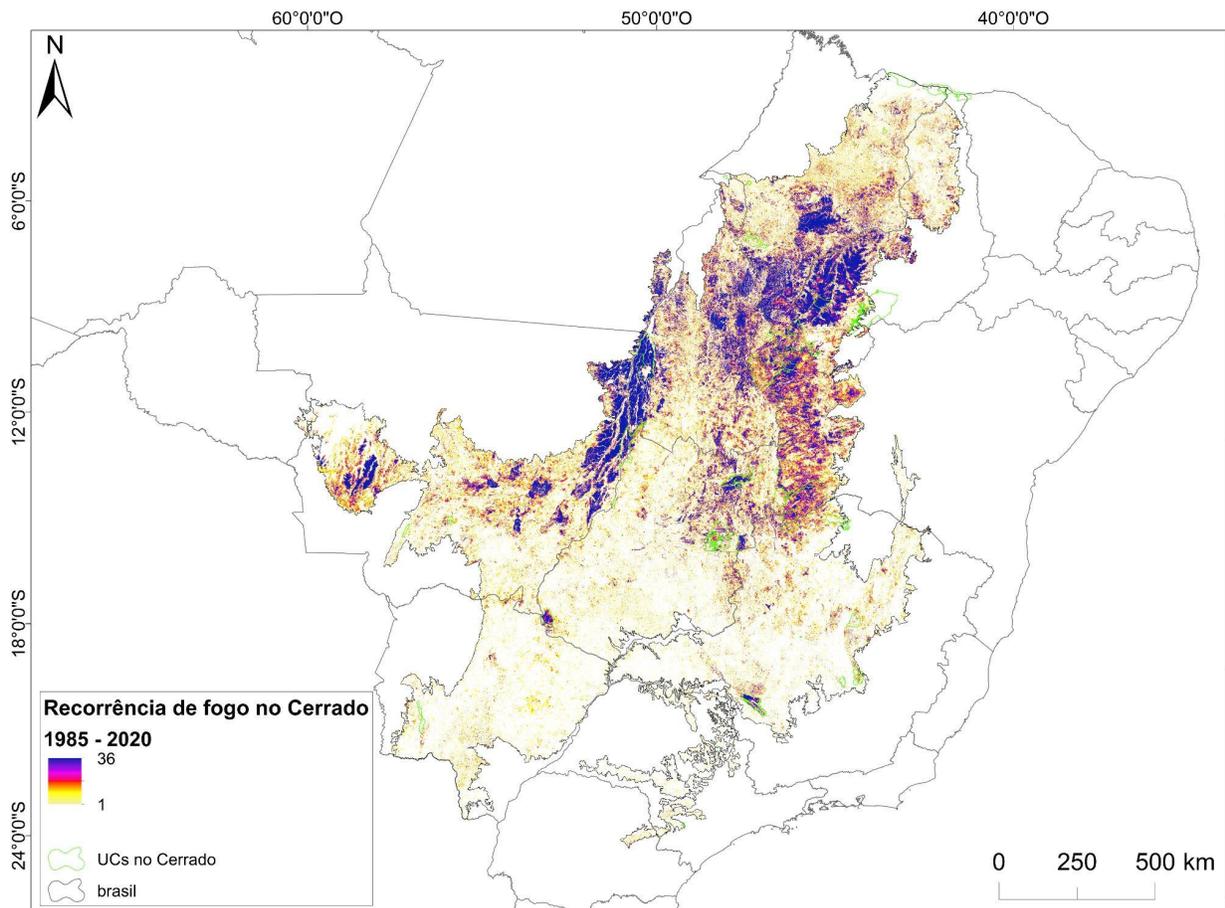
Fonte dos dados: MapBiomas Fogo. Elaborado pelo autor.

Ao longo desses 36 anos, grandes áreas foram convertidas em áreas urbanas, pastagens e campos de agricultura. No entanto, este processo de ocupação antecede este período; a região sul do bioma começou a ser ocupada esparsamente no período da exploração do ouro no Brasil, nos

séculos XVII e XVIII. Já a região norte foi ocupada mais recentemente, nos séculos XIX e XX (SILVA, 2020). Observando a figura 7, nota-se que as maiores ocorrências de incêndios se situam na região norte. Cerca de 35% do território do Cerrado passou por algum evento de fogo entre os anos de 1985 e 2020.

Ainda observando a figura 7, destacam-se duas regiões com alta recorrência de incêndios: a região do médio Araguaia, região historicamente ocupada por extensas áreas de pastagem, e a região do MATOPIBA. A região do MATOPIBA é uma importante fronteira agrícola do Brasil, responsável ultimamente por grande parte da produção agroindustrial do país, compreendendo parte dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

Figura 7. Recorrência de incêndios florestais no Bioma Cerrado.



Fonte dos dados: MapBiomas Fogo. Elaborado pelo autor.

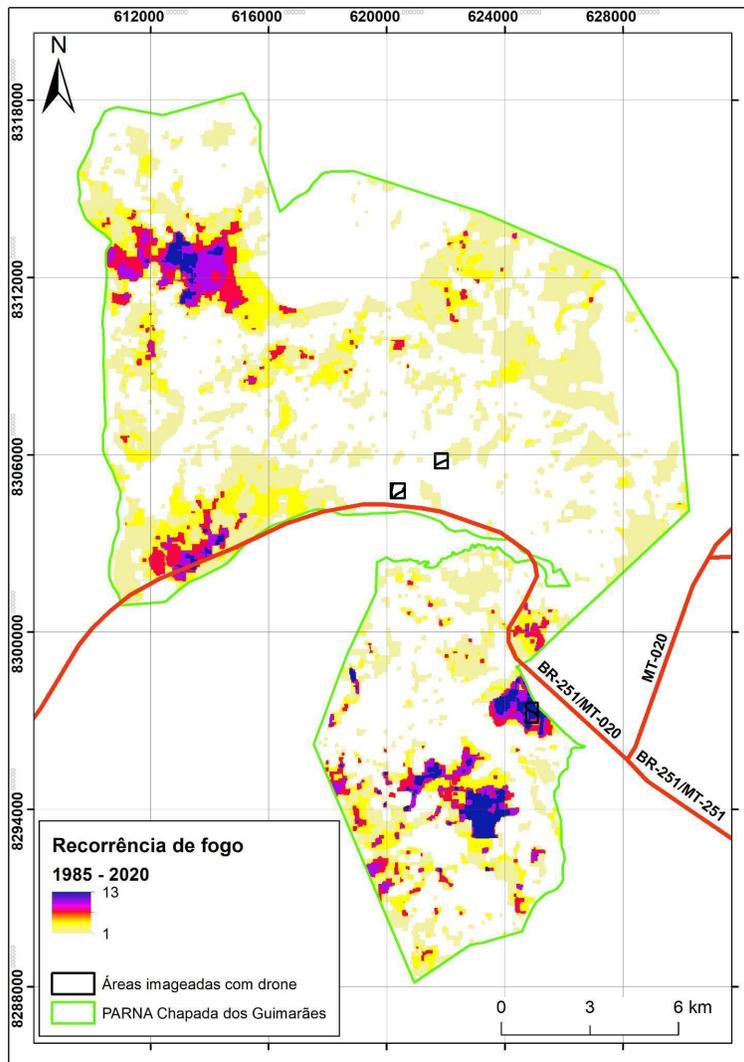
Outro destaque que se pode fazer é em relação às áreas protegidas por lei, como unidades de conservação (UC) e territórios indígenas (TI). É possível identificar, sem grande esforço, áreas como Parque Nacional Chapada dos Veadeiros (Goiás), Parque Nacional de Emas (Goiás), Parque Nacional Serra da Canastra (Minas Gerais) e a reserva indígena Utiariti, no estado do Mato Grosso, com altos índices de ocorrência de incêndios ao longo deste período.

Ainda analisando os dados de cicatriz de fogo e sua recorrência, foi conferido a taxa de reincidência no período dos 4 anos seguintes a cada ano de referência. Observou-se que em média 10% das áreas queimadas em um ano voltam a queimar no ano seguinte. Essa taxa sobe e fica entre 20% e 30% quando se observa a repetição com 2, 3 e 4 anos de intervalo. Com relação ao período do ano em que o fogo ocorreu, observou-se que a taxa de área queimada no período entre abril e julho, que foi também queimada nos 4 anos seguintes, foi cerca de 20% maior do que no período mais crítico, entre agosto e outubro.

#### **4.2. Parque Nacional da Chapada dos Guimarães**

Assim como outras UCs do Cerrado, o PNCG é frequentemente afetado por incêndios florestais. Aproximadamente 40% da área do parque passou por algum evento de fogo no período analisado. No entanto, nos últimos 36 anos, pode se apontar apenas quatro áreas no parque com grande ocorrência de incêndios (figura 8). Duas dessas áreas se situam na entrada principal do parque, e próximo à rodovia BR-251, onde também se situa a sua sede. A maior recorrência de incêndios dentro do parque no período analisado foi de uma pequena área de aproximadamente 1 hectare que queimou 13 vezes em 20 anos.

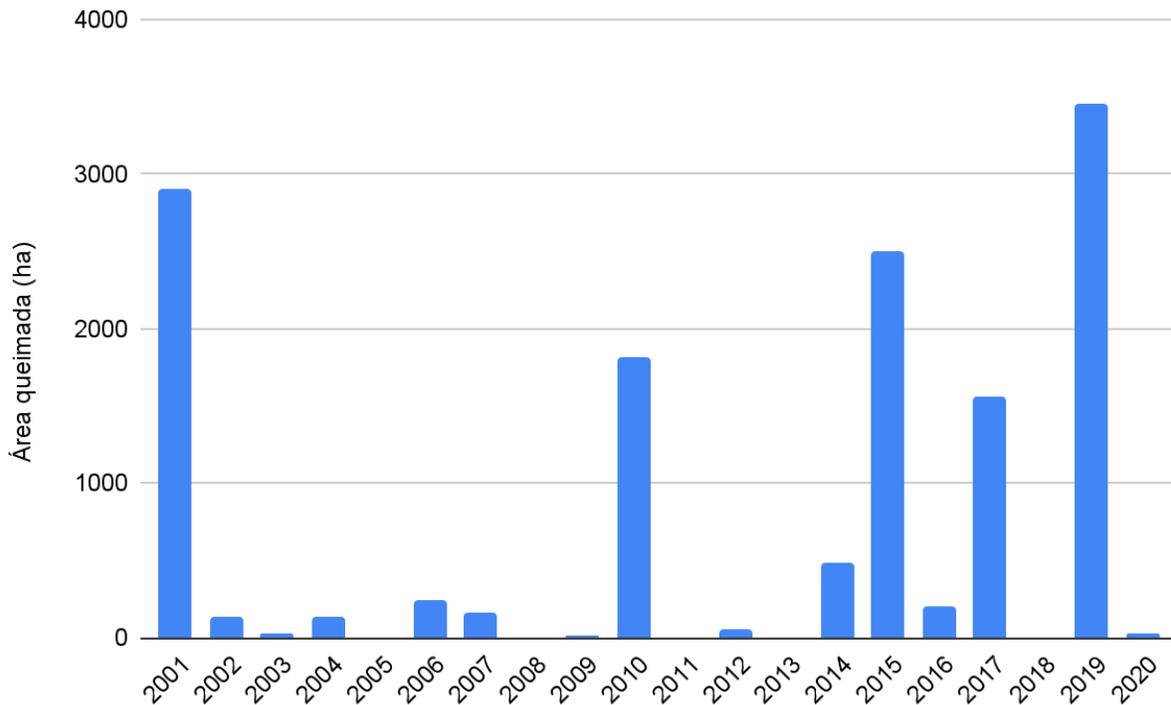
Figura 8. Recorrência de incêndios florestais no PNCG.



Fonte dos dados: MapBiomas Fogo. Elaborado pelo autor.

Nos anos de 2008 e 2013 o parque não teve nenhum registro de fogo (Figura 9). O maior registro de área queimada no período de 2001 a 2020 foi em 2019, quando cerca de 3454 hectares do parque foram queimados, o que representa cerca de 10% de sua área total. Os anos de 2001, 2010, 2015 e 2017 foram anos com registros também altos, com pelo menos 1.500 hectares de área queimada. Assim como ocorre nas demais áreas do bioma cerrado, o período em que mais ocorre incêndios é entre os meses de agosto, setembro e outubro, com média de 677 hectares para estes meses. Este valor é imensamente superior ao observado nos demais períodos do ano. De janeiro a março, a média de área queimada é de cerca de 2 hectares. De abril a julho, a média chega a 7 hectares, e no bimestre novembro-dezembro a média de área queimada entre os anos de 2001 e 2020 é de apenas meio hectare.

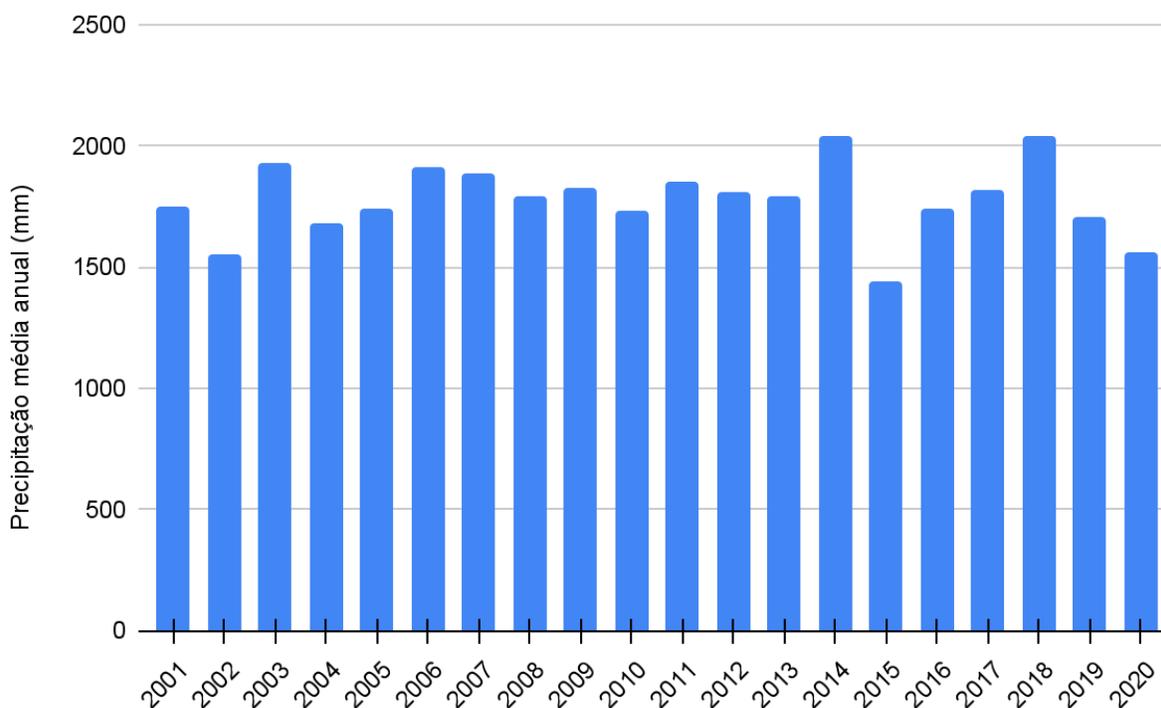
Figura 9. Gráfico com a relação de área queimada no PNCG entre o período de 2001 e 2020.



Fonte dos dados: MapBiomias Fogo. Elaborado pelo autor.

A relação entre o regime de chuvas e a ocorrência de incêndios florestais está no período seguido de dias que uma determinada região fica sem chuva (SETZER et. al., 2019). A precipitação acumulada anual obtida através da média entre as três estações meteorológicas (São Vicente, Cuiabá e Diamantino) está em conformidade com o que é descrito no plano de manejo do parque. A média anual de precipitação observada foi de 1780 mm, e no período observado, houve pouca variação ao longo dos anos. Destaca-se o ano de 2015, no qual a precipitação acumulada ficou abaixo dos 1500 mm, considerado como ano seco, e os anos de 2014 e 2018, em que a precipitação acumulada superou os 2000 mm, considerados como anos chuvosos (NASCIMENTO, et. al., 2015). A precipitação não foi um fator determinante da variação temporal de área anual queimada ( $R^2 = 0,118$ ), que indica maior influência antrópica (DA COSTA, 2017). A figura 10 trás a relação do acumulado anual de precipitação entre o período de 2001 e 2020.

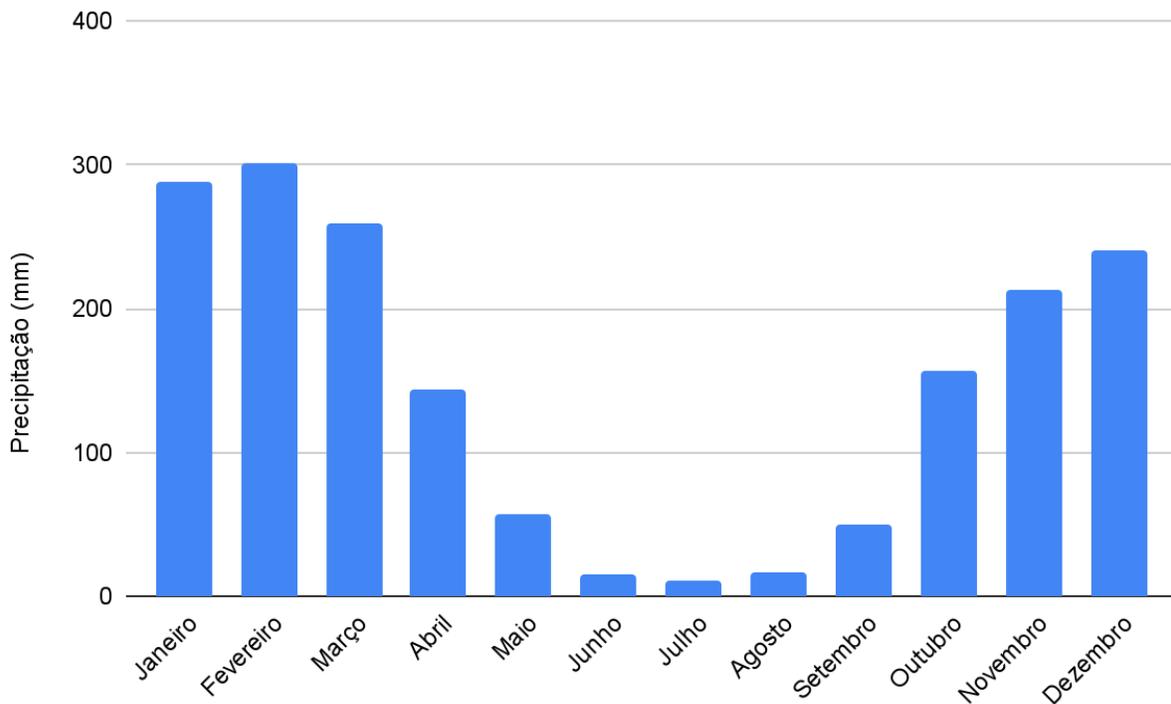
Figura 10. Gráfico com a relação de média anual de precipitação entre o período de 2001 a 2020.



Fonte dos dados: INMET. Elaborado pelo autor.

A precipitação média mensal observada (figura 11) é bastante similar ao encontrado em outros locais com latitude próxima, como por exemplo Goiânia (ROCHA, 2021). O período chuvoso vai de outubro a abril, média de 228 mm por mês, com os meses com maiores médias de precipitação sendo janeiro e fevereiro, respectivamente 288 e 300 mm. O período seco compreende os meses de maio a setembro, com precipitação média de 30 mm por mês, sendo julho o mês mais seco com média mensal de apenas 10 mm, seguido por junho, 15 mm, e agosto, 16 mm. Ao longo do período observado, foi comum o registro de 0 mm de chuva dentre os meses considerados secos. O período sem chuva compõe a base do cálculo de risco de fogo (RF) utilizado no INPE (SETZER, et. al., 2019), que descreve o conceito de “Dias de Secura” como o número de dias seguidos sem nenhuma precipitação durante os últimos 120 dias em relação à uma determinada data. O RF indica quão propícia a vegetação está para ser queimada, do ponto de vista meteorológico.

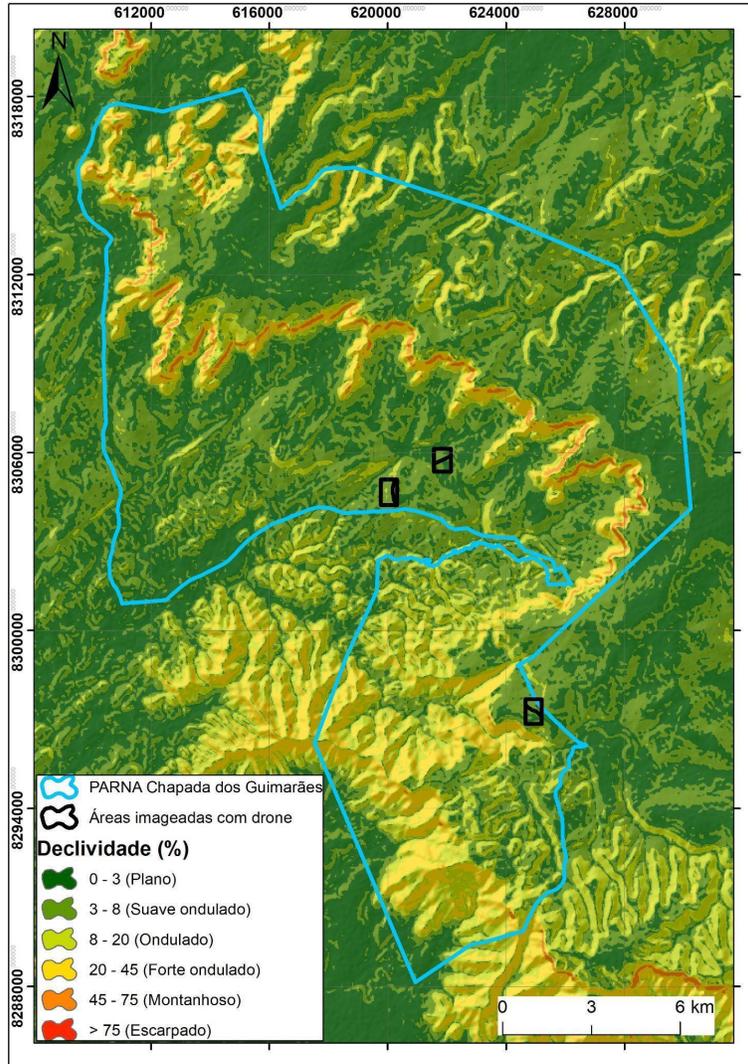
Figura 11. Gráfico com a média mensal de precipitação.



Fonte: INMET. Elaborado pelo autor.

Por conta de suas características geomorfológicas, a Chapada dos Guimarães conta com uma barreira natural contra os incêndios provenientes da porção oeste. Assim, o grande paredão da Chapada, um dos “cartões postais” deste parque, impede que o fogo avance para a sua porção leste (figura 12). O revelo mais acidentado observado na região sul do parque, onde predomina a classe forte ondulado, não só favorece a propagação dos incêndios florestais como também dificulta o trabalho dos brigadistas. está é umas das áreas do parque com maior recorrência de incêndios.

Figura 12. Declividade em porcentagem do PNCG e seu entorno.

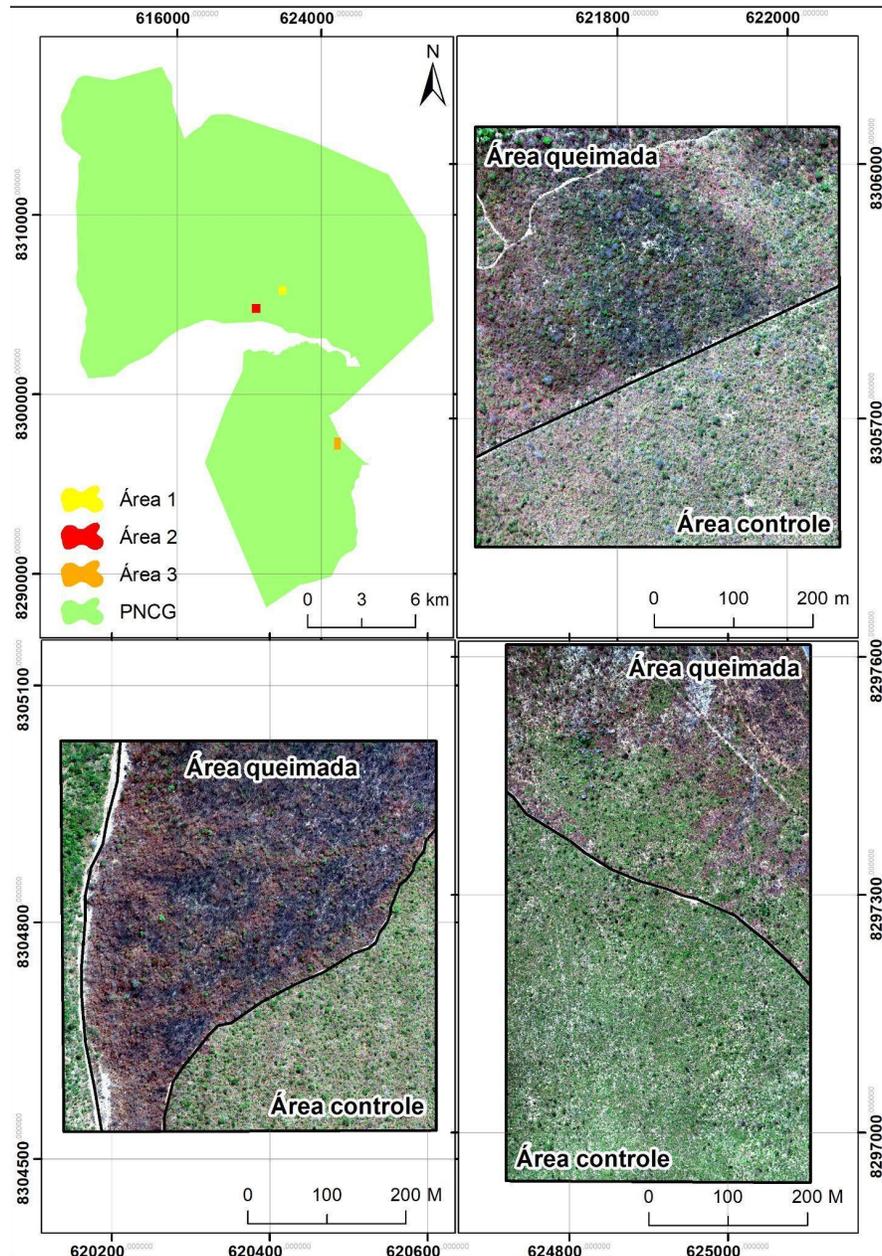


Fonte. INPE. Elaborado pelo autor.

As áreas selecionadas para realização dos voos (figura 13) estão situadas em regiões com diferentes índices de recorrência. As áreas 1 e 2 estão numa região onde não houve nenhum evento de fogo nos últimos 36 anos analisados. Já a área 3, está localizada numa região com certa frequência de incêndios, onde foram registrados até 6 repetições durante este recorte temporal. As três áreas onde foram realizados os voos no parque são cobertas por cerrado típico. As áreas dos voos foram selecionadas por conta da execução queima controlada, tendo sido os voos planejados para sobrevoar parte da área queimada, e uma parcela adjacente sem contato com

fogo, para fins de comparação. Na figura 12 é possível diferenciar as áreas queimadas e não queimadas separadas por vias de acesso.

Figura 13. Áreas sobrevoadas com drone no PNCG.

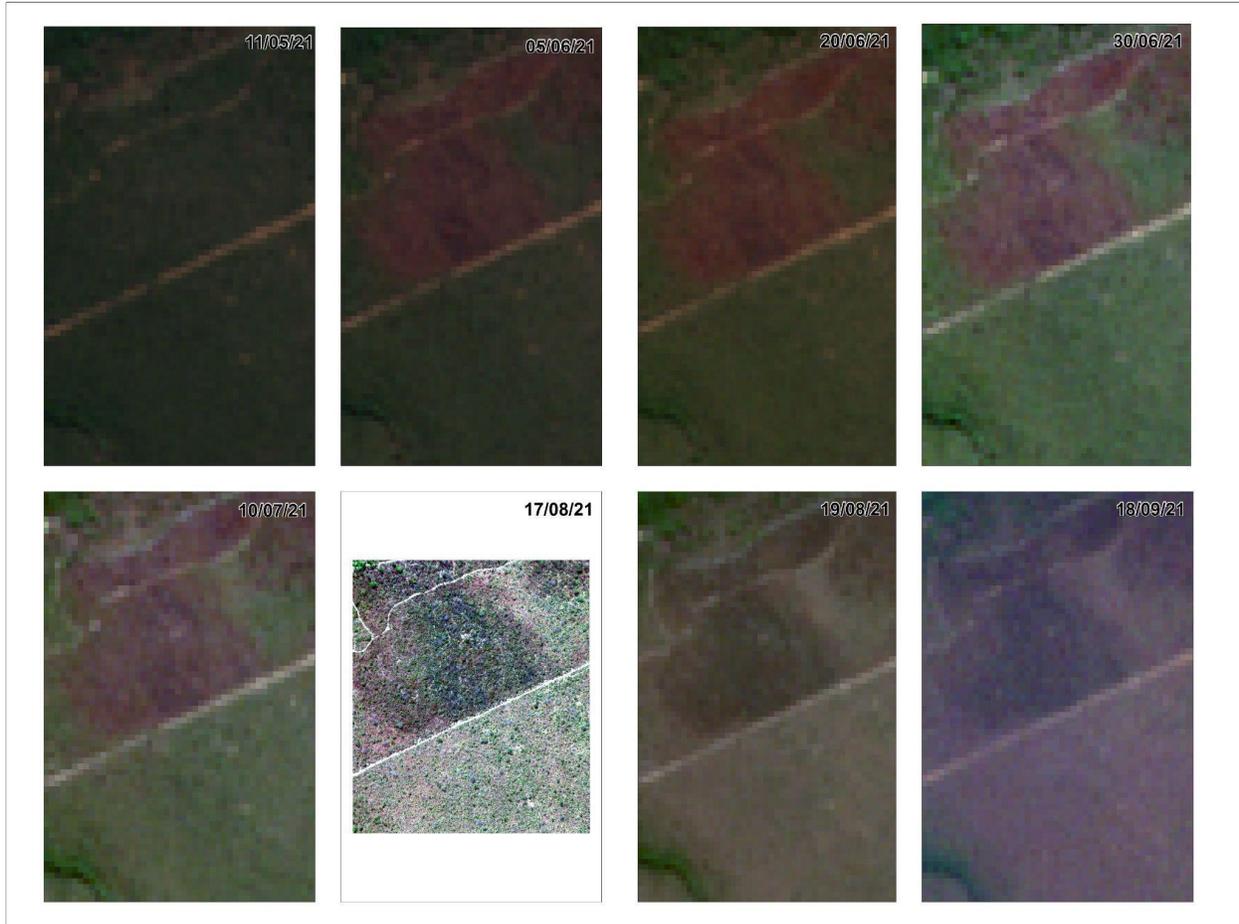


Fonte. Elaborado pelo autor.

Na primeira área, submetida à queima controlada mais cedo (mês de junho de 2021), pode-se observar pela série de imagens Sentinel-2 (figura 14, datas 11/05, 05/06, 20/06, 30/06, 10/07, 19/08 e 18/09) o momento em que a área é afetada pelo fogo e perde seu vigor vegetativo

(composição cor verdadeira RGB bandas 2, 3 e 4); porém, é possível observar uma ligeira recuperação no final deste ciclo.

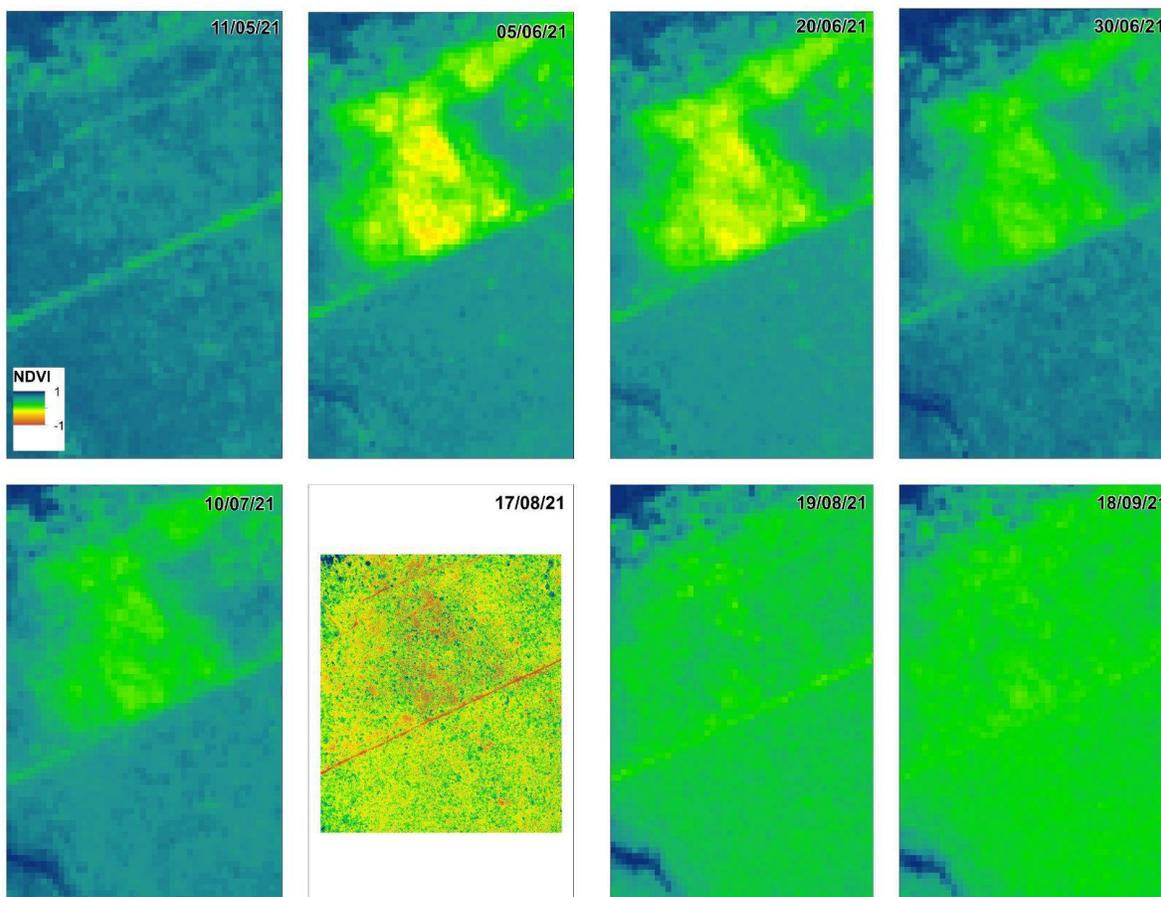
Figura 14. Série temporal da área 1. Satélite Sentinel-2, composição RGB cor verdadeira.



Fonte. Elaborado pelo autor.

A série temporal de índice de vegetação na área 1 (figura 15), ilustra o momento no qual a área é queimada, no final do mês de maio, entre a primeira e a segunda cena, e a sua recuperação ao longo dos meses. É nítido também o decréscimo natural do vigor vegetativo frente ao período seco. Na figura 14 também é possível observar o índice de vegetação obtido com o drone, com maior amplitude nos valores por conta do nível de detalhe da imagem.

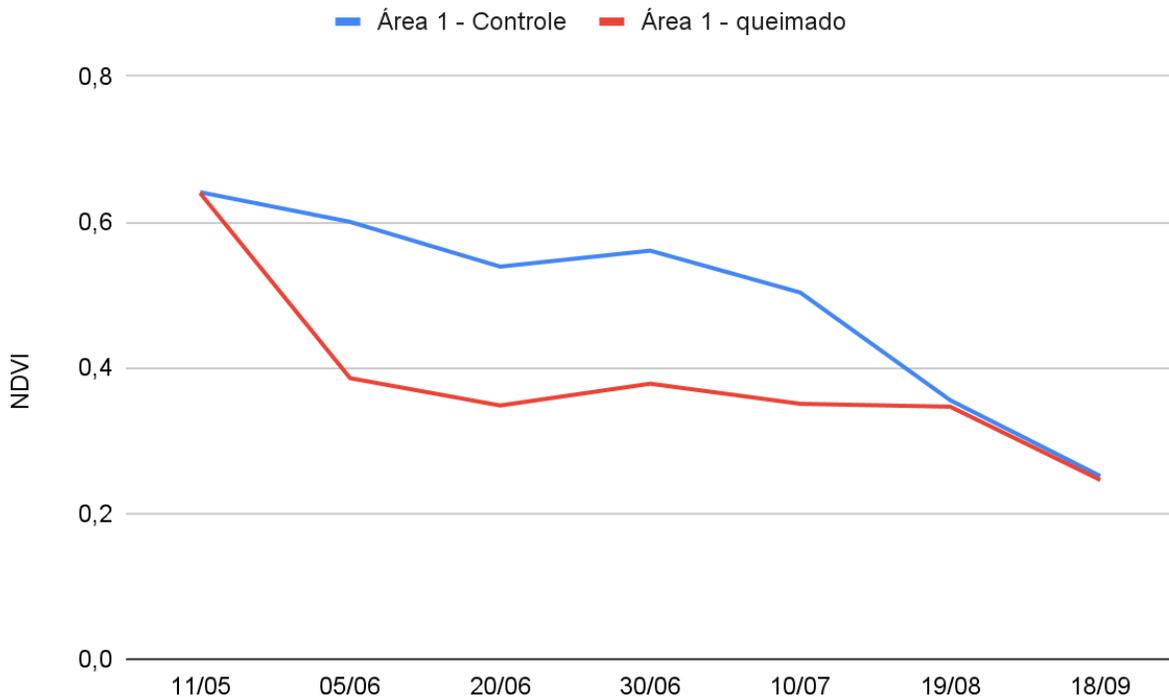
Figura 15. Série temporal NDVI da área 1.



Fonte. Elaborado pelo autor.

O gráfico na figura 16 ilustra os valores médios da série temporal de índices de vegetação da área 1, separando entre a área queimada e a área controle. Na primeira data, 11/05, os valores médios são elevados, acima de 0,6, e estão próximos. Na segunda data, 05/06, a primeira após a realização da queimada nesta área, é observada a maior diferença entre as médias, 0,38 na área queimada. A parcela sob manejo de fogo queimou em 77,3% de sua área. Já é possível observar uma pequena queda na média da área controle pelo fim do período de chuva. Nas três datas seguintes, 20/06, 30/06 e 10/07, a diferença entre as médias segue alta, próximo dos 0,2, mas com a visível redução dos valores na área controle. Nas duas últimas datas, 19/08 e 18/09, já é observado a aproximação dos valores novamente, com a redução da diferença entre a média das duas áreas caindo para 0,01.

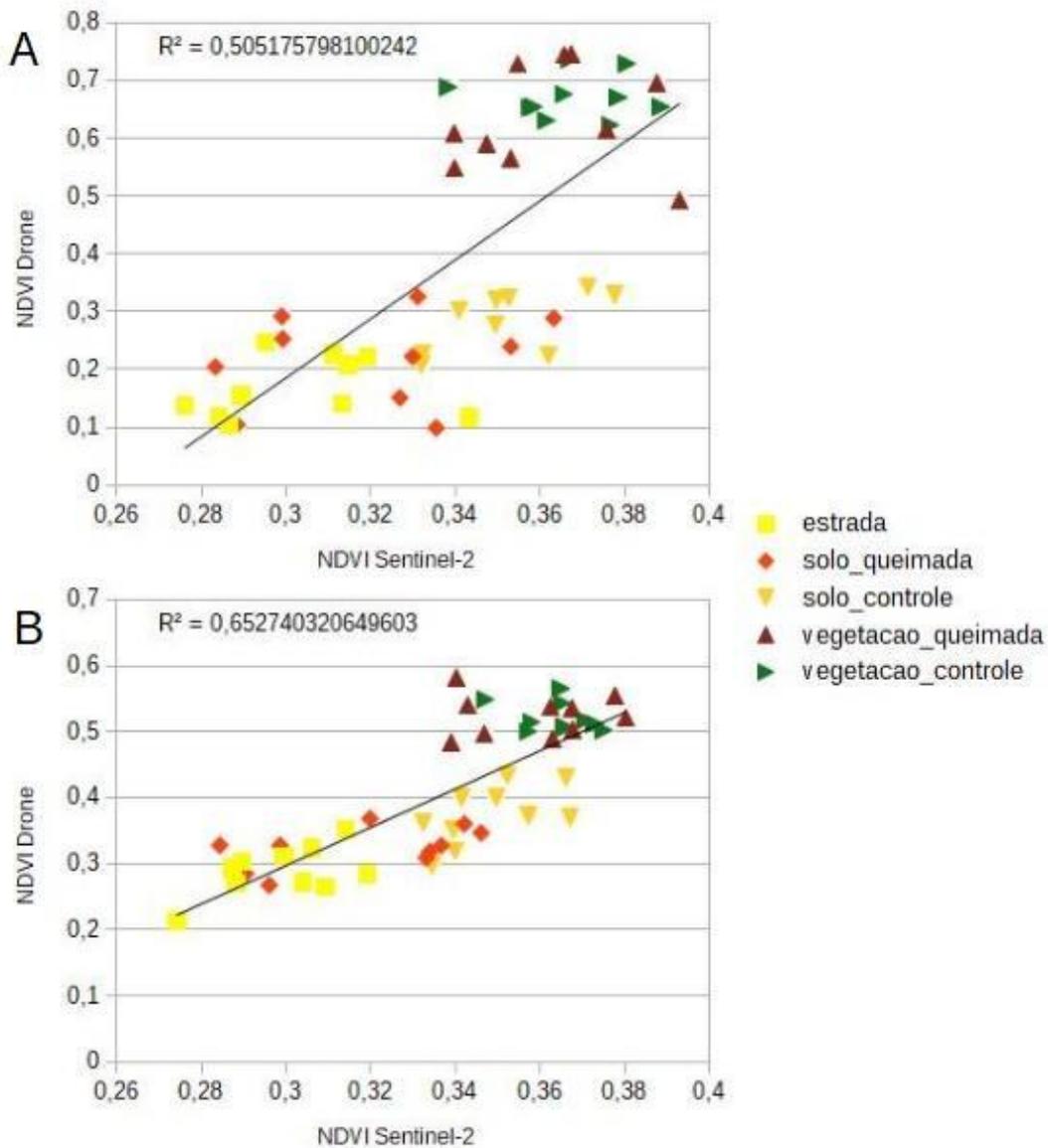
Figura 16. Gráfico com a média do NDVI da área 1.



Fonte. Elaborado pelo autor.

A figura 17 apresenta dois gráficos de dispersão comparando as amostras de NDVI obtidos com o drone, em campo, no eixo Y, e com a imagem Sentinel-2, eixo X. O gráfico superior (A) compara os índices de um único pixel. A baixa correlação ( $R^2 = 0,505$ ) entre estes dados se dá pela diferença de pixel, 6cm na da imagem de drone e 10 metros da imagem sentinel-2. A respeito da dispersão dos pontos, destaca-se que a única classe que obteve uma melhor separação a partir da imagem sentinel-2 foi a classe de estrada/solo. O gráfico de dispersão inferior (B) ilustra a comparação entre os índices de vegetação obtidos com o drone com o dado da imagem Sentinel-2 extraídos por estatística zonal a partir de um buffer de 5 metros dos pontos amostrais. A coleta de valores dos pixels vizinhos aumentou a correlação entre os dados ( $R^2 = 0,652$ ).

Figura 17. Gráfico de dispersão com linha de tendência de pontos amostrais relacionando os valores de NDVI obtidos com a imagem do *drone* e com a imagem Sentinel-2 para a área 1. (A) gráfico de dispersão utilizando pontos. (B) gráfico de dispersão utilizando buffer de 5 metros dos pontos.

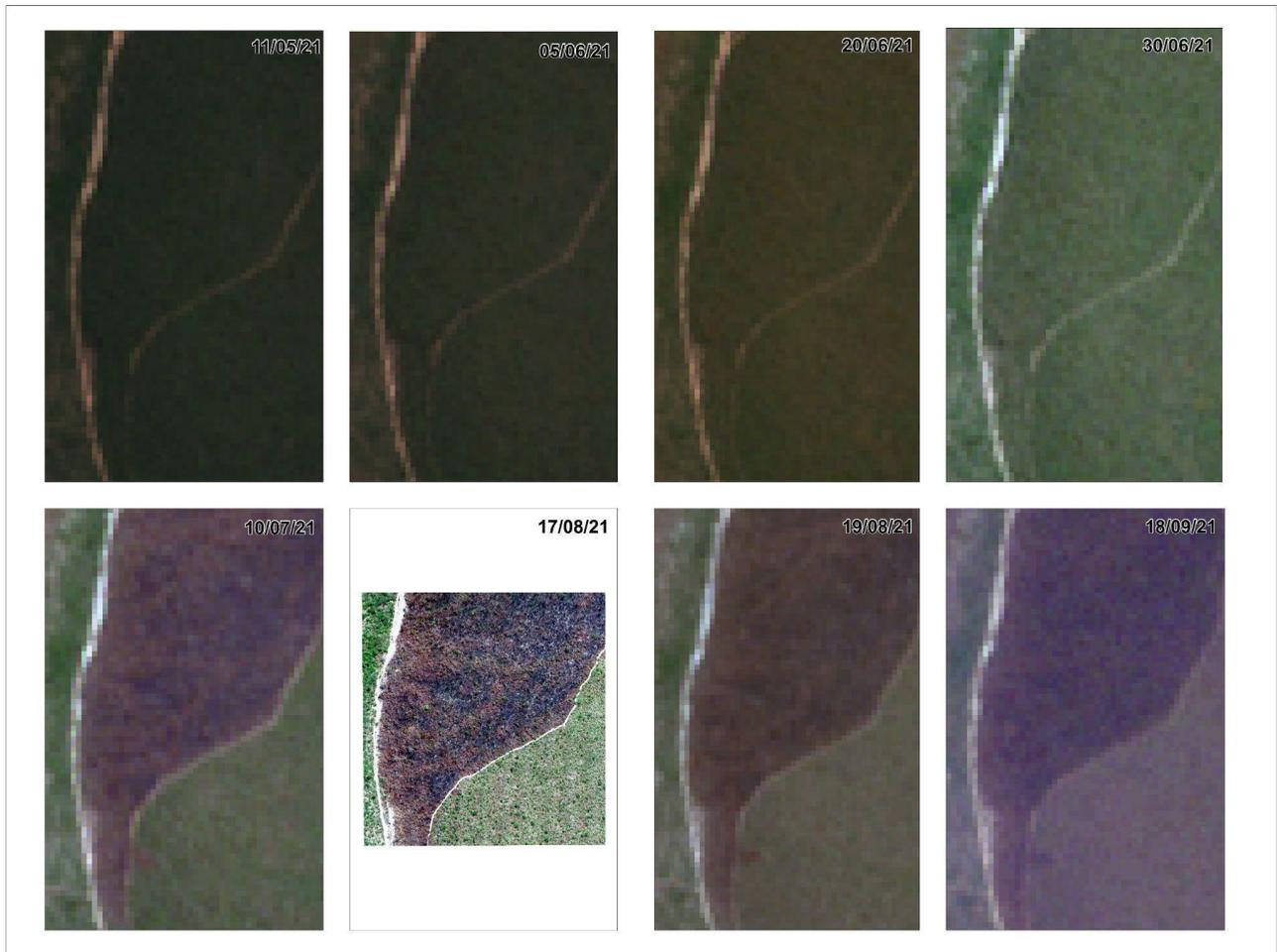


Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda área, última a ser queimada no contexto do MIF, no início de julho de 2021, já apresentava perda do vigor vegetativo quando realizaram a queima (figura 18). Nesta área, por conta de a queima ter sido realizada mais tardia, no mês mais seco de acordo com as médias mensais observadas na figura 10, é possível observar a cicatriz de fogo mais nítida, em relação à

área 1. Nesta área, é possível observar na parcela controle uma pequena mancha de cicatriz de fogo, certamente ocorrido no momento da queima prescrita, mas que não causou influências nas análises.

Figura 18. Série temporal da área 2. Satélite Sentinel-2, composição RGB cor verdadeira.

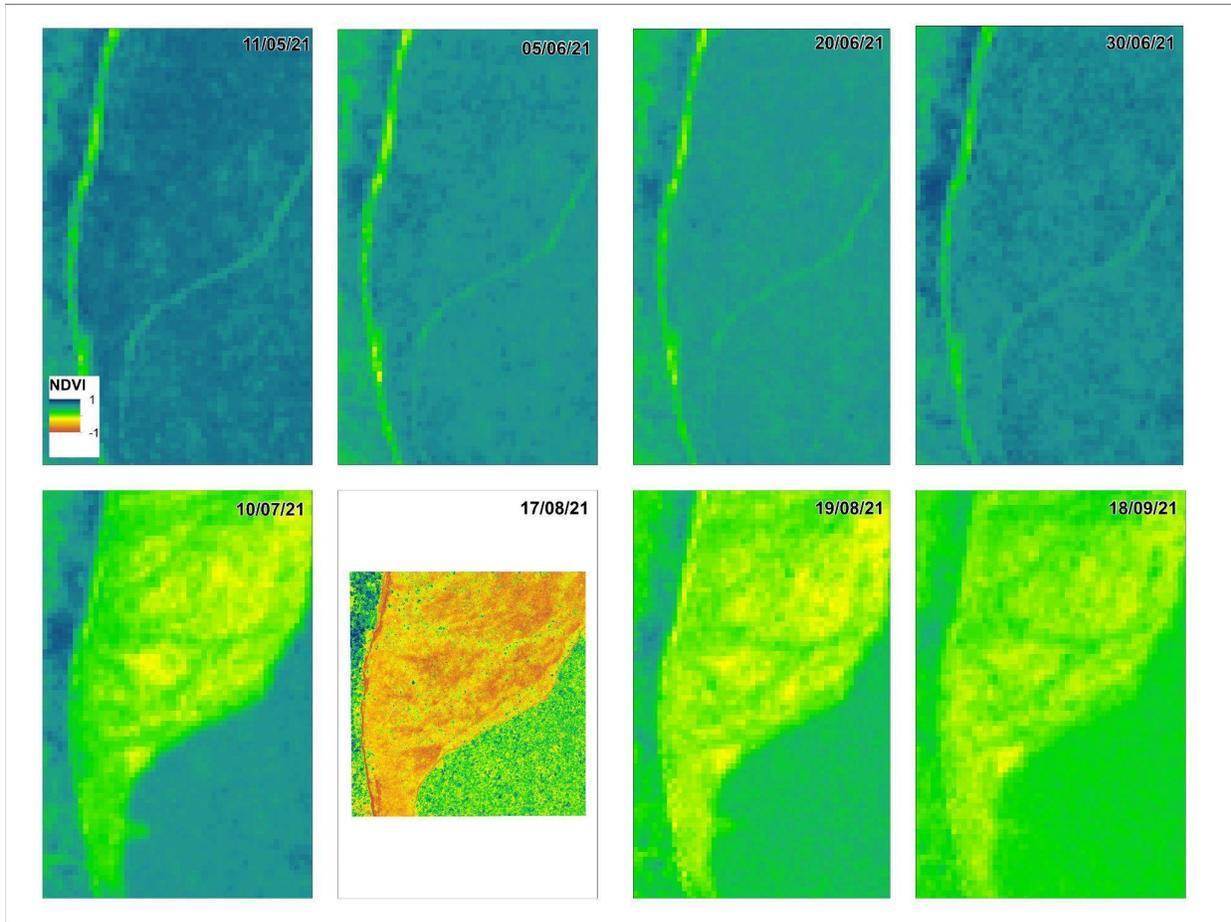


Fonte. Elaborado pelo autor.

A figura 19 apresenta a série temporal de índices de vegetação para a área 2. É possível observar, na transição da quarta para a quinta cena, entre as datas de 30/06 e 10/07, a alteração da resposta do NDVI ponto conta da queima realizada. Destaca-se, novamente, a queda natural dos

valores do índice por conta do período seco. Essa queda natural é mais acentuada a partir da cena de julho.

Figura 19. Série temporal NDVI da área 2.

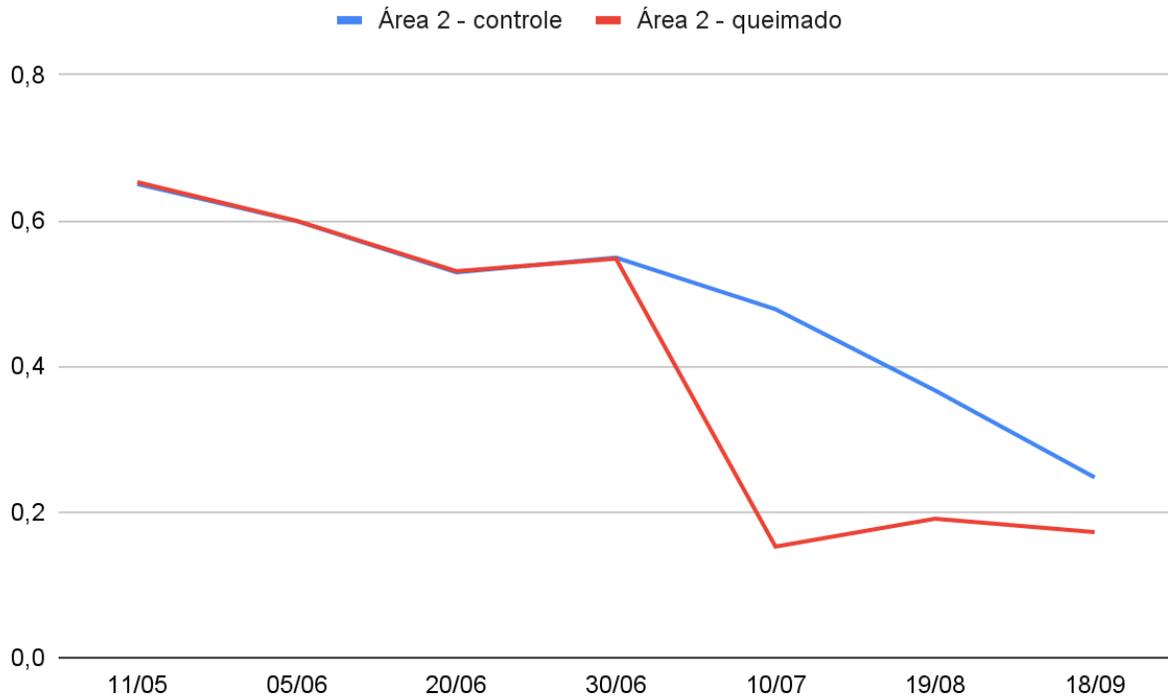


Fonte. Elaborado pelo autor.

O gráfico da figura 20 ilustra a média do índice de vegetação ao longo da série temporal para as duas parcelas da área 2, parcela queimada e controle. Nas três primeiras datas os valores são similares entre eles, mas é possível observar o decréscimo em virtude do período seco. Os valores médios vão de 0,65 na primeira data, 11/05, para 0,59 e depois 0,53, em 05/06 e 20/06. Na cena de data anterior a realização da queima há um ligeiro aumento do índice, provavelmente por conta de algum evento isolado de chuva. A média obtida na cena de 10/07, a primeira após a queima, registra o decaimento abrupto do índice e a diferença de cerca de 0,32 entre as duas

parcelas. Nesta área, a parcela que recebeu o manejo de fogo foi totalmente queimada. Nas duas datas seguintes, 19/08 e 18/09, por conta da contínua perda de vigor vegetativo, o valor médio da parcela não queimada se aproxima do valor da parcela queimada, mas ainda com uma pequena diferença ao final da série de 0,07.

Figura 20. Gráfico com a média do NDVI da área 2.

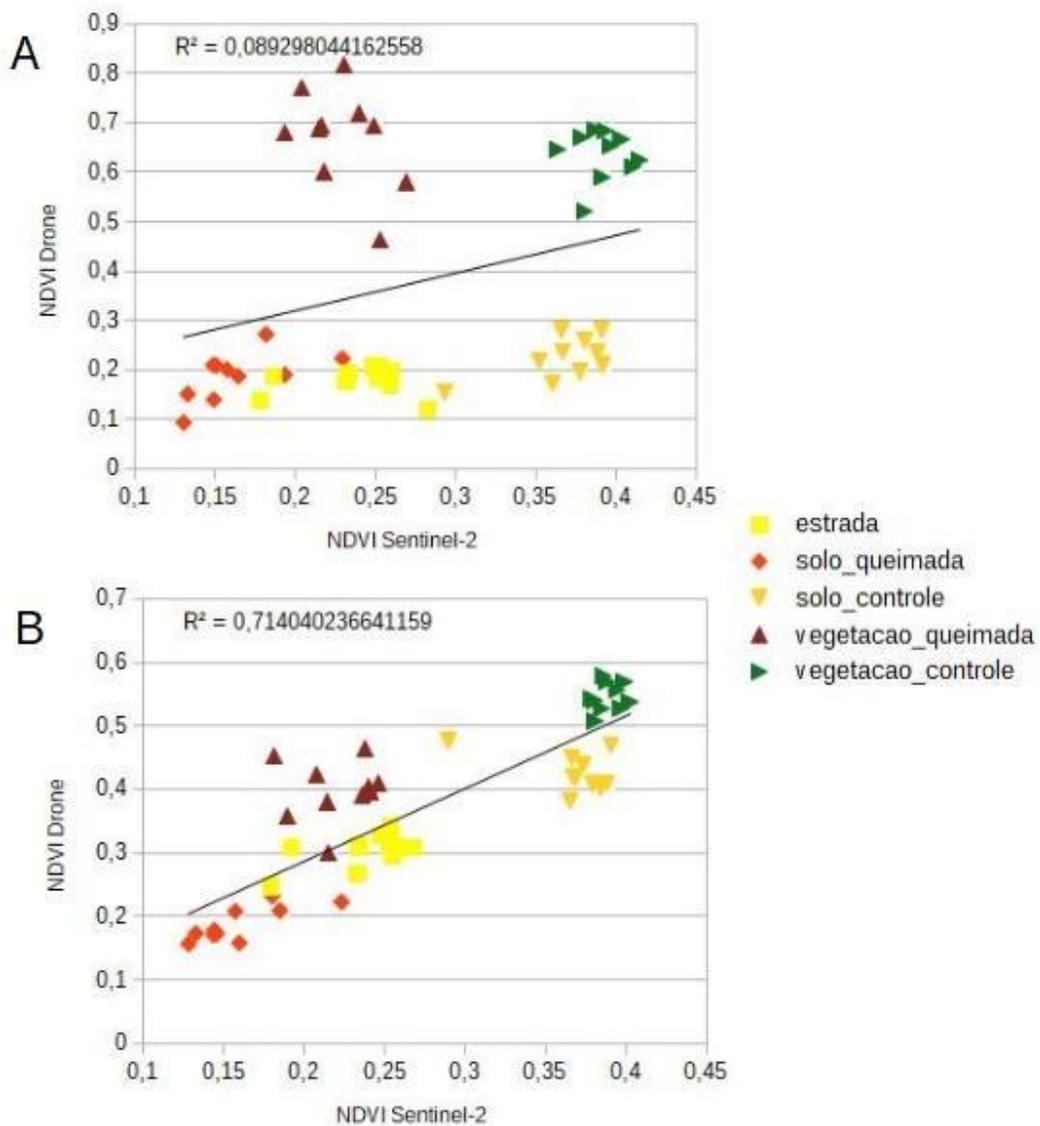


Fonte. Elaborado pelo autor.

A figura 21 apresenta dois gráficos de dispersão comparando as amostras de NDVI obtidos com o drone, em campo, no eixo Y, e com a imagem Sentinel-2, eixo X, da área 2. Nesta área, o gráfico superior (A), em que é comparado pixel a pixel, apesar da baixa correlação entre os dados ( $R^2 = 0,089$ ), pode se observar maior separabilidade das classes de vegetação e solo, por parte do dado obtido com o drone, e dos pontos nas parcelas queimado e controle, por parte dos dados da imagem sentinel-2. Neste caso, essa maior separabilidade das classes representa maior potencial de classificação da cicatriz de fogo e análise da área queimada, utilizando uma cena

sentinel-2, que em relação à área 1. O gráfico inferior (B) da figura 21 apresenta a maior correlação observada nesta análise ( $R^2 = 0,714$ ).

Figura 21. Gráfico de dispersão com linha de tendência de pontos amostrais relacionando os valores de NDVI obtidos com a imagem do *drone* e com a imagem Sentinel-2 para a área 2. (A) gráfico de dispersão utilizando pontos. (B) gráfico de dispersão utilizando buffer de 5 metros dos pontos.

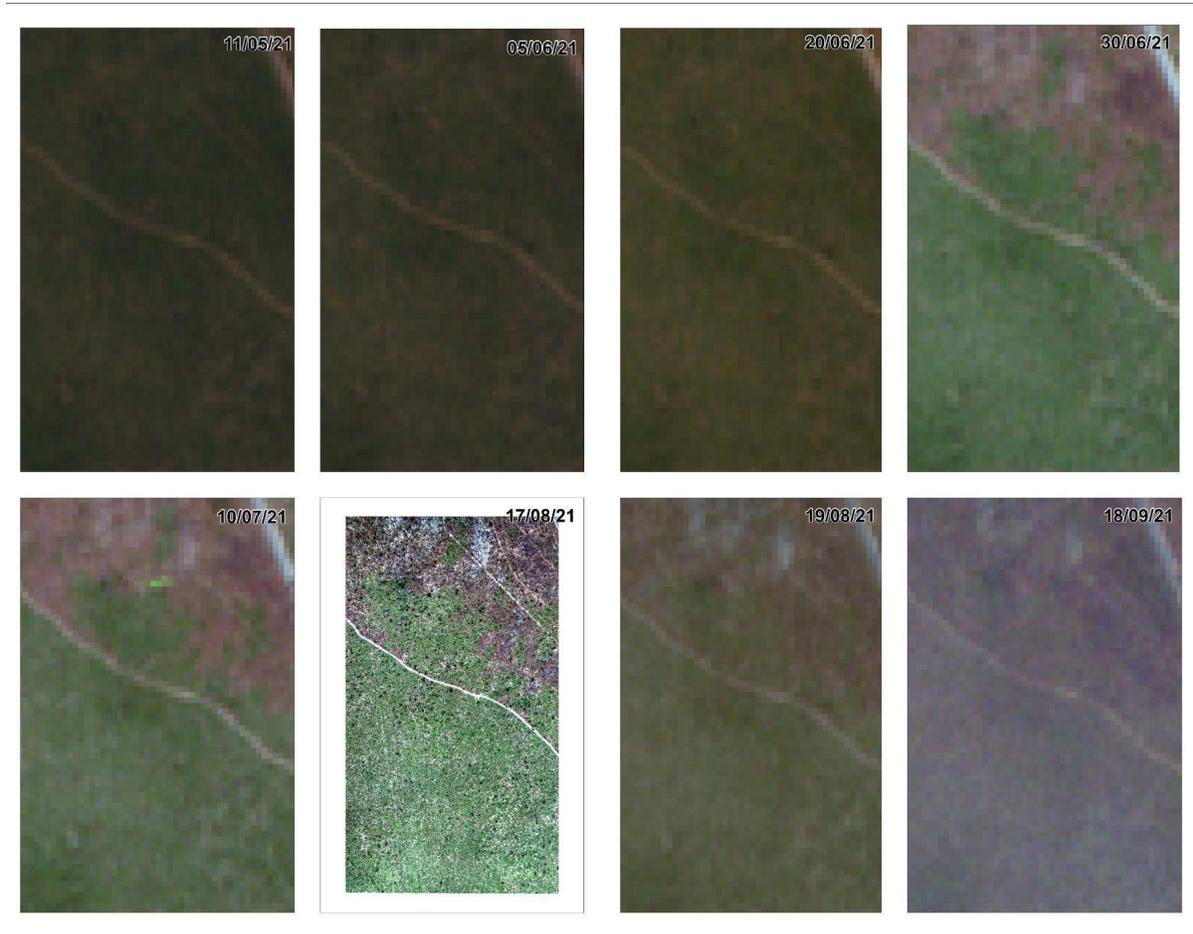


Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira área, também queimada quando a vegetação já apresentava perda de vigor vegetativo (figura 22), é a única das áreas analisadas nesta pesquisa que possui histórico de

incêndios no período analisado. A área registrou incêndios nos anos de 2002, 2006, 2010, 2014, 2016 e 2019, no período de 2001 até 2020. Nesta área, é possível observar que a parcela queimada não foi totalmente queimada, o que pode ter influenciado nas estatísticas zonais desta área.

Figura 22. Série temporal da área 3. Satélite Sentinel-2, composição RGB cor verdadeira.

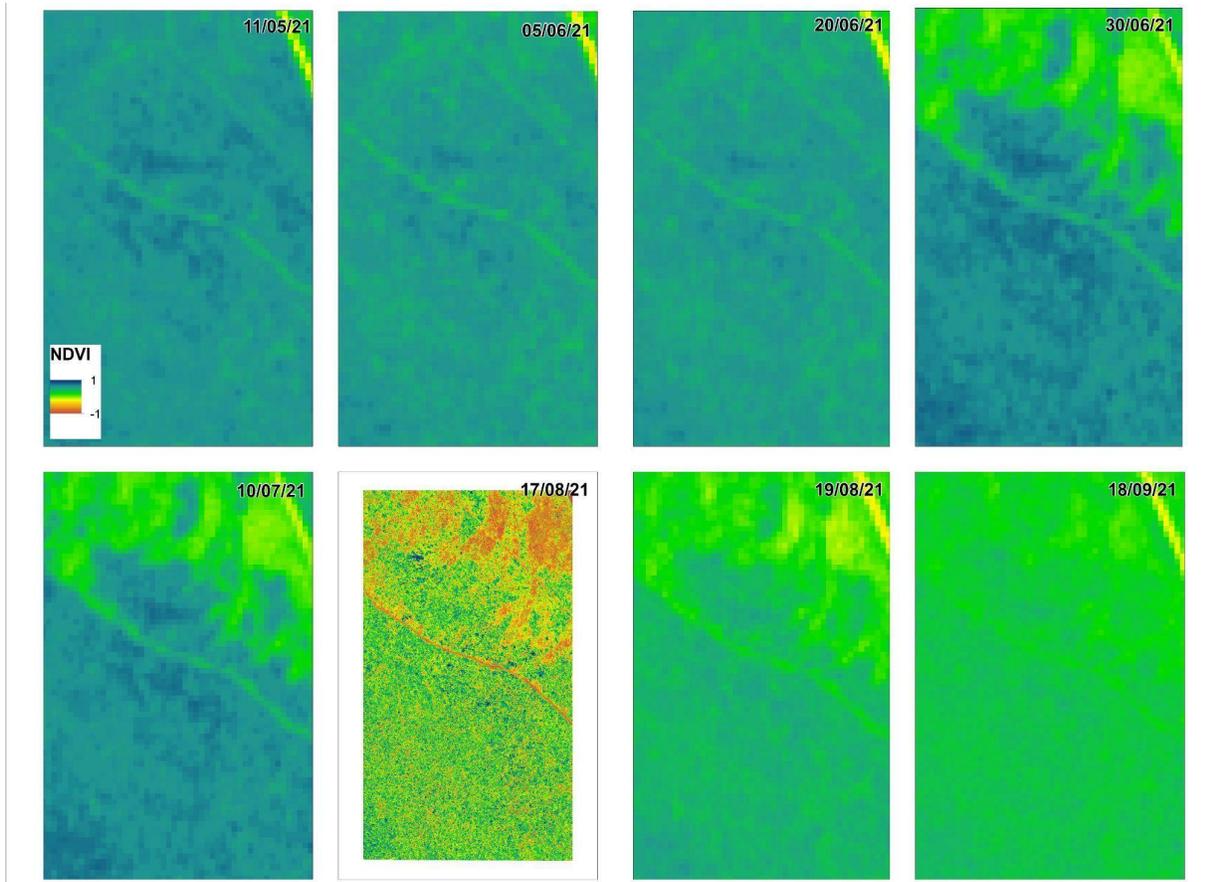


Fonte. Elaborado pelo autor.

A figura número 23 trás a série temporal dos índices de vegetação da área 3. Destaca-se o momento em que a queima prescrita é realizada, entre as cenas de data 20/06 e 30/06. Assim como na área 1, ao final da série de imagens, nas cenas de data 19/08 e 18/09, observa-se a

redução dos valores do índice a ponto de as parcelas queimada e controle terem respostas semelhantes.

Figura 23. Série temporal NDVI da área 3.



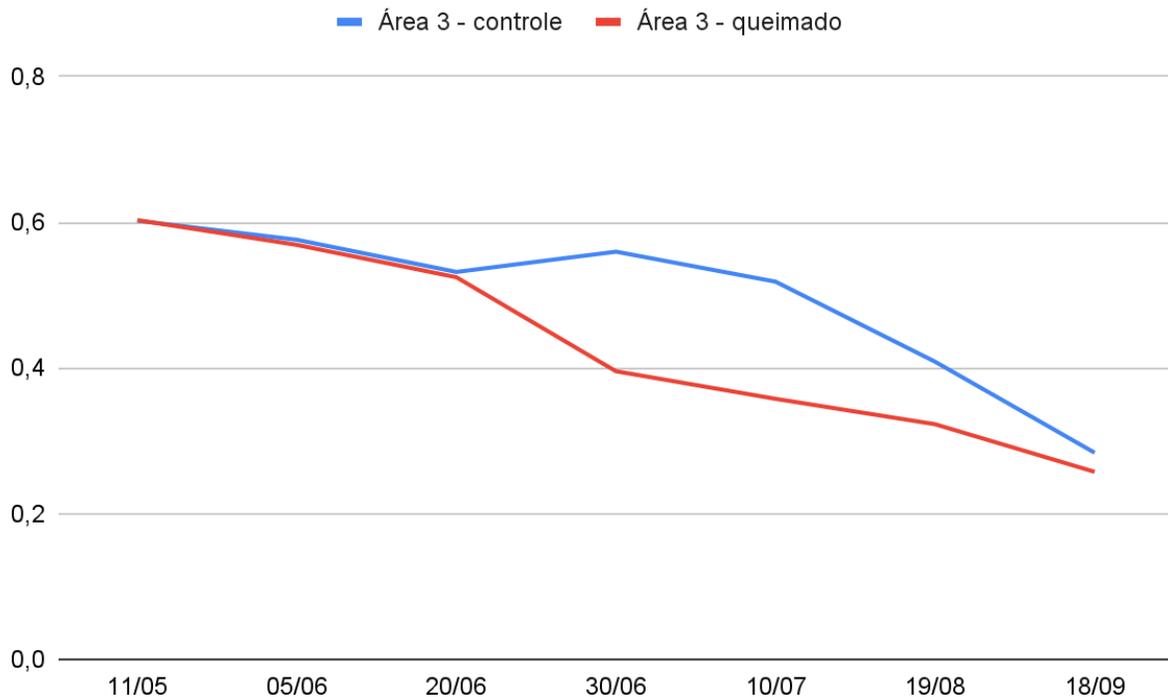
Fonte. Elaborado pelo autor.

A figura 24 ilustra a média do índice de vegetação ao longo da série temporal para as duas parcelas da área 3, parcela queimada e controle. Assim como nas demais áreas amostradas, é possível observar o decaimento do valor médio do índice de vegetação em decorrência da ausência de chuvas. Nas três primeiras datas, 11/05, 05/06 e 20/06, os valores estão próximos entre as parcelas.

O valor inicial do NDVI médio nas duas parcelas foi ligeiramente inferior ao das demais áreas, aproximadamente 0,05. A primeira cena que registra a vegetação pós fogo indica a menor amplitude entre as duas parcelas, apenas 0,16. A média da parcela controle, assim como nas

demais áreas, apresentou um ligeiro aumento na data de 30/06. Como citado anteriormente, provavelmente por conta de um evento isolado de chuva, que explicaria também a menor efetividade na queima desta área, 66,2% da parcela foi queimada. Esta área também apresentou valores médios de NDVI próximos ao das parcelas queimada e não queimada para o mês de setembro.

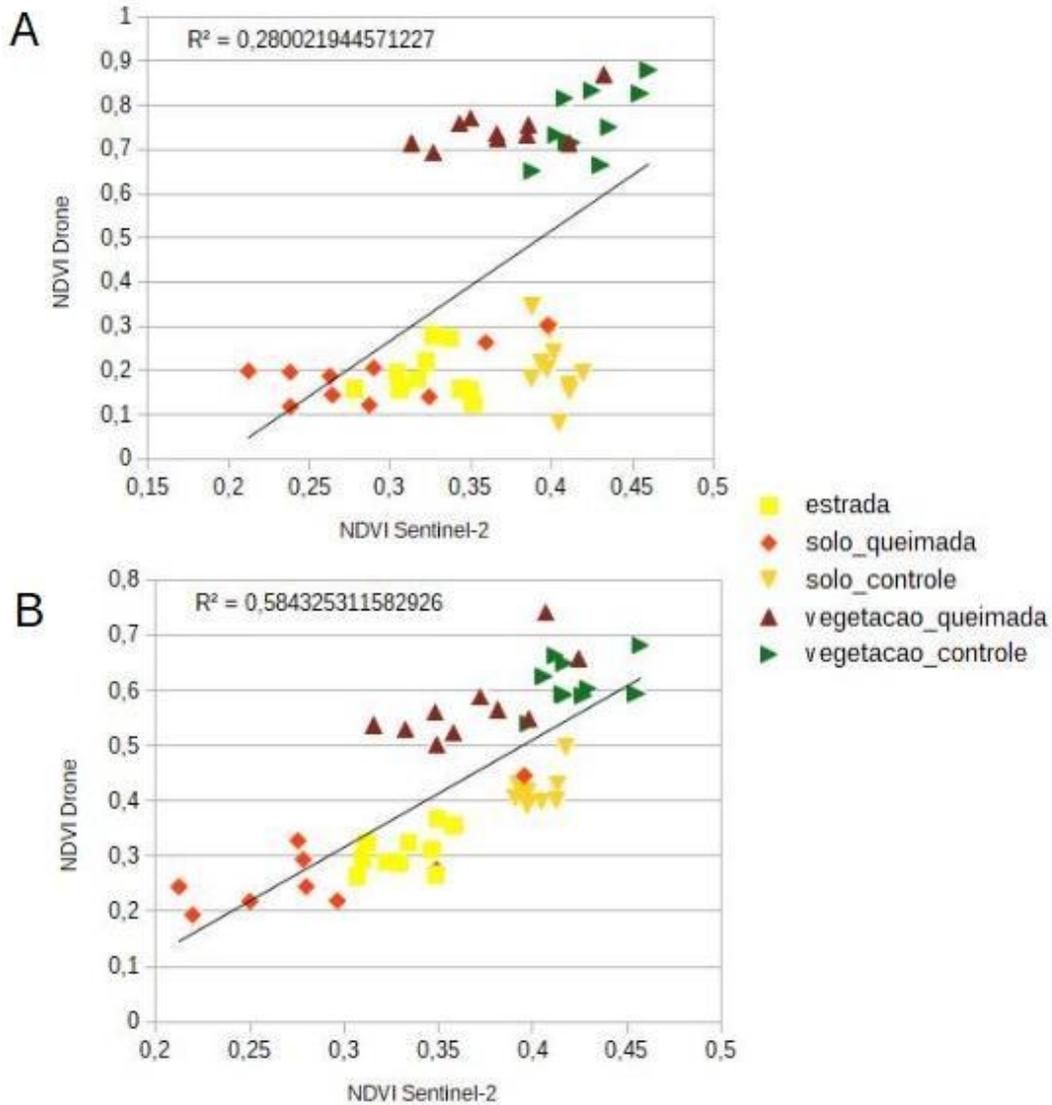
Figura 24. Gráfico com a média do NDVI da área 3.



Fonte. Elaborado pelo autor.

A figura 25 apresenta dois gráficos de dispersão comparando as amostras de NDVI obtidos com o drone, em campo, no eixo Y, e com a imagem Sentinel-2, eixo X, da área 3. Nesta área, o gráfico A, que comparou os índices por pixel, demonstra maior separação das classes de solo e vegetação, a partir dos dados do drone, e a partir dos dados sentinel-2 separou-se as classes de solo na área queimada e a vegetação na área controle. O gráfico B, obtido com o buffer de 5 metros, registrou a menor correlação dentre as três áreas ( $R^2 = 0,584$ ).

Figura 25. Gráfico de dispersão com linha de tendência de pontos amostrais relacionando os valores de NDVI obtidos com a imagem do *drone* e com a imagem Sentinel-2 para a área 3. (A) gráfico de dispersão utilizando pontos. (B) gráfico de dispersão utilizando buffer de 5 metros dos pontos.

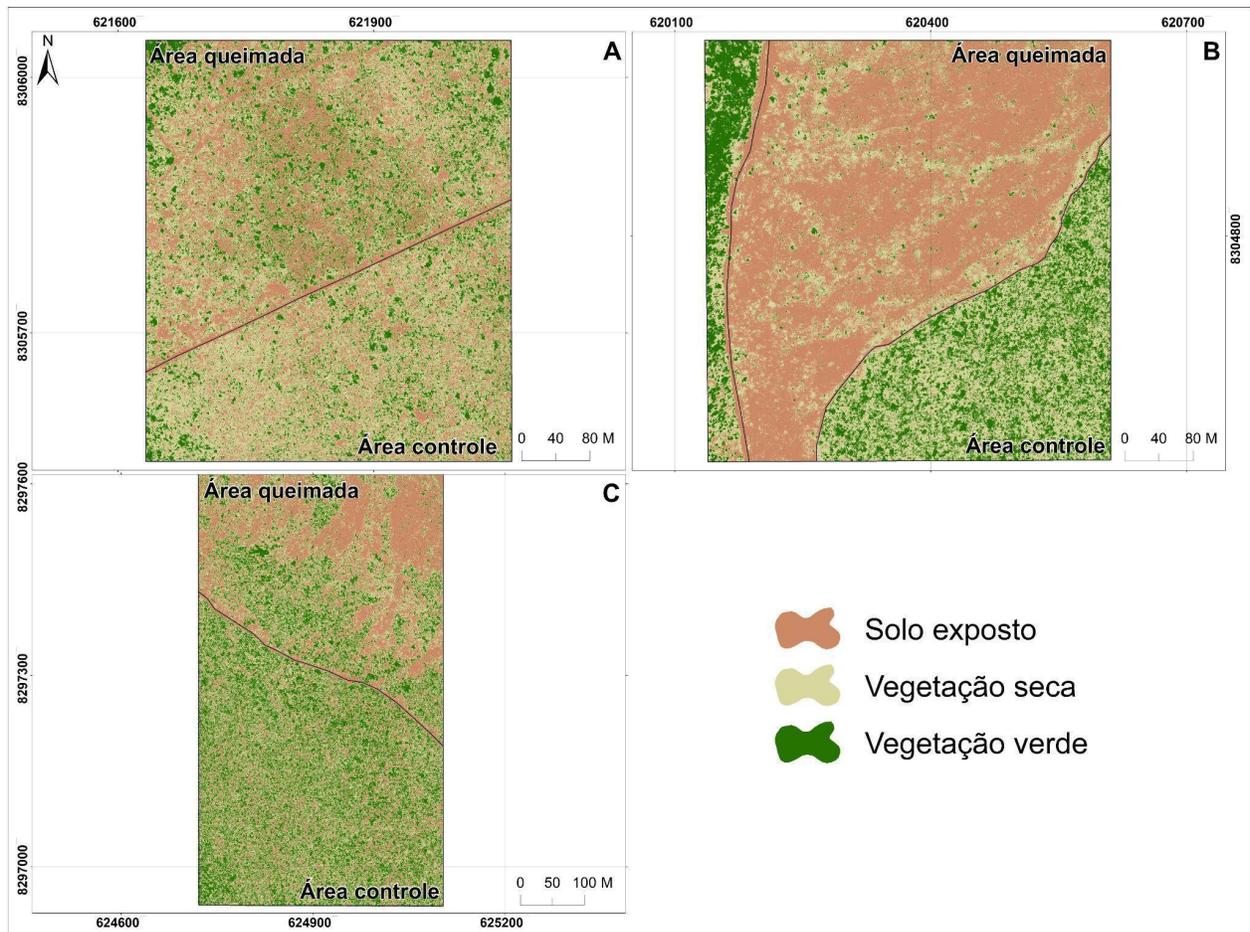


Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 26 ilustra a classificação das áreas amostradas a partir do índice NDVI. Foram adotadas 3 classes, solo exposto, vegetação seca e vegetação verde. A classe de vegetação seca engloba tanto a vegetação que foi queimada e perdeu suas folhas quando a vegetação que se secou e/ou perdeu suas folhas pela ausência de chuvas no período seco, em que os levantamentos

foram realizados, além de plantas mortas e serrapilheira, pois não foi possível fazer essa separação utilizando o índice de vegetação. Ainda na figura 26, as letras A, B e C indicam as áreas 1, 2 e 3 respectivamente.

Figura 26. Classificação da cobertura do solo nas três áreas sobrevoadas. (A) Classificação da área 1. (B) Classificação da área 2. (C) Classificação da área 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

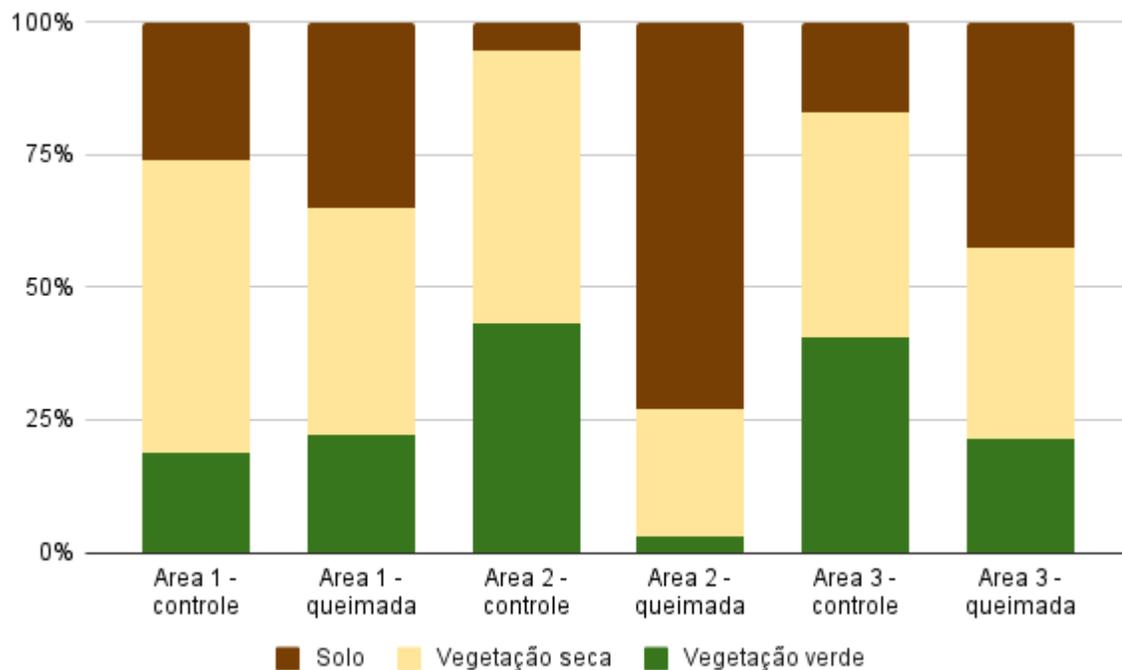
A figura 27 ilustra a porcentagem de cobertura de cada classe nas três áreas. Na primeira área, embora seja a área com as menores diferenças, pode se observar a menor porcentagem de cobertura de vegetação seca na parcela queimada, 42,7%, frente a parcela controle, 55,3%. Além disso, a classe de solo exposto também foi maior na parcela queimada, 35%, do que na parcela

controle, 26%. A taxa de cobertura de vegetação verde foi a mais próxima dentre as três áreas: 18,7% na parcela controle e 22,3% na parcela queimada. Ao contrário do que foi observado nas demais áreas, a cobertura de vegetação verde foi ligeiramente maior na parcela queimada.

Os valores observados na área 2 foram os com maior contraste entre as parcelas. A classe de solo exposto na parcela controle indicou a cobertura de apenas 5,3%, já na área queimada a cobertura foi de 72,8%. A classe de vegetação verde também apresentou grande diferença: apenas 3,1% na parcela queimada e 43,2% na parcela controle. A parcela controle também registrou mais vegetação seca, 51,5%, que a parcela queimada 24,1%.

Assim como nas demais áreas, a área número 3 também apresentou maior cobertura de solo exposto na parcela queimada (42,4%) e maior cobertura de vegetação seca na área controle (42,6%), apesar da pequena diferença. A cobertura de vegetação verde foi de 21,4% na parcela queimada e 40,5% na parcela controle.

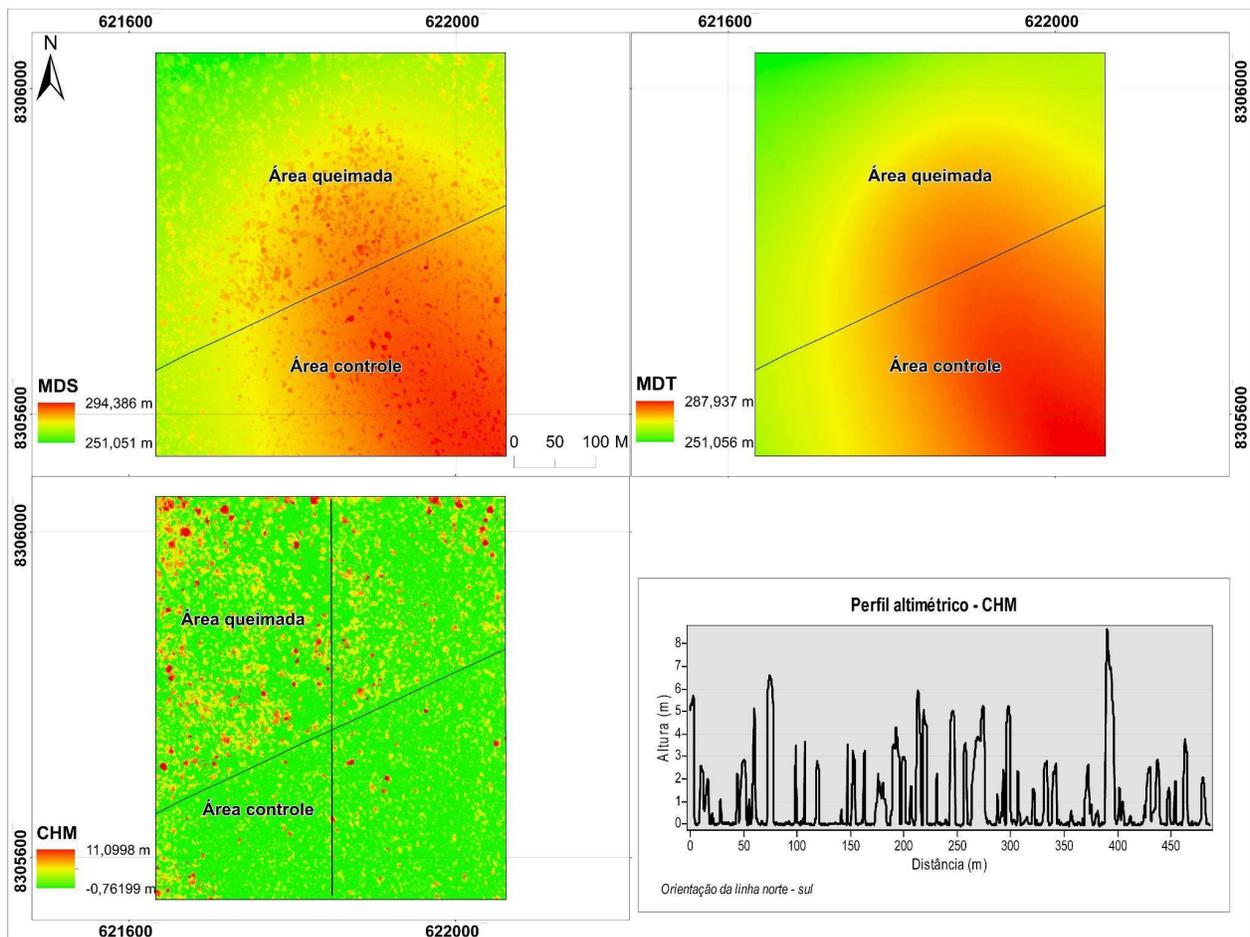
Figura 27. Gráfico com a porcentagem de cobertura de cada classe.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As figuras 28, 29 e 30 Ilustram os modelos altimétricos das três áreas analisadas. O MDS é um modelo de representação da superfície do terreno acrescido de qualquer objeto, como árvores e edificações, onde o topo desses objetos serão representados como a superfície do terreno (CÂNDIDO, et. al., 2014). As variações de altitude registradas nos MDS foram de 251 a 294 metros de elevação na área 1, 282 a 333 metros na área 2 e 588 a 632 metros na área 3.

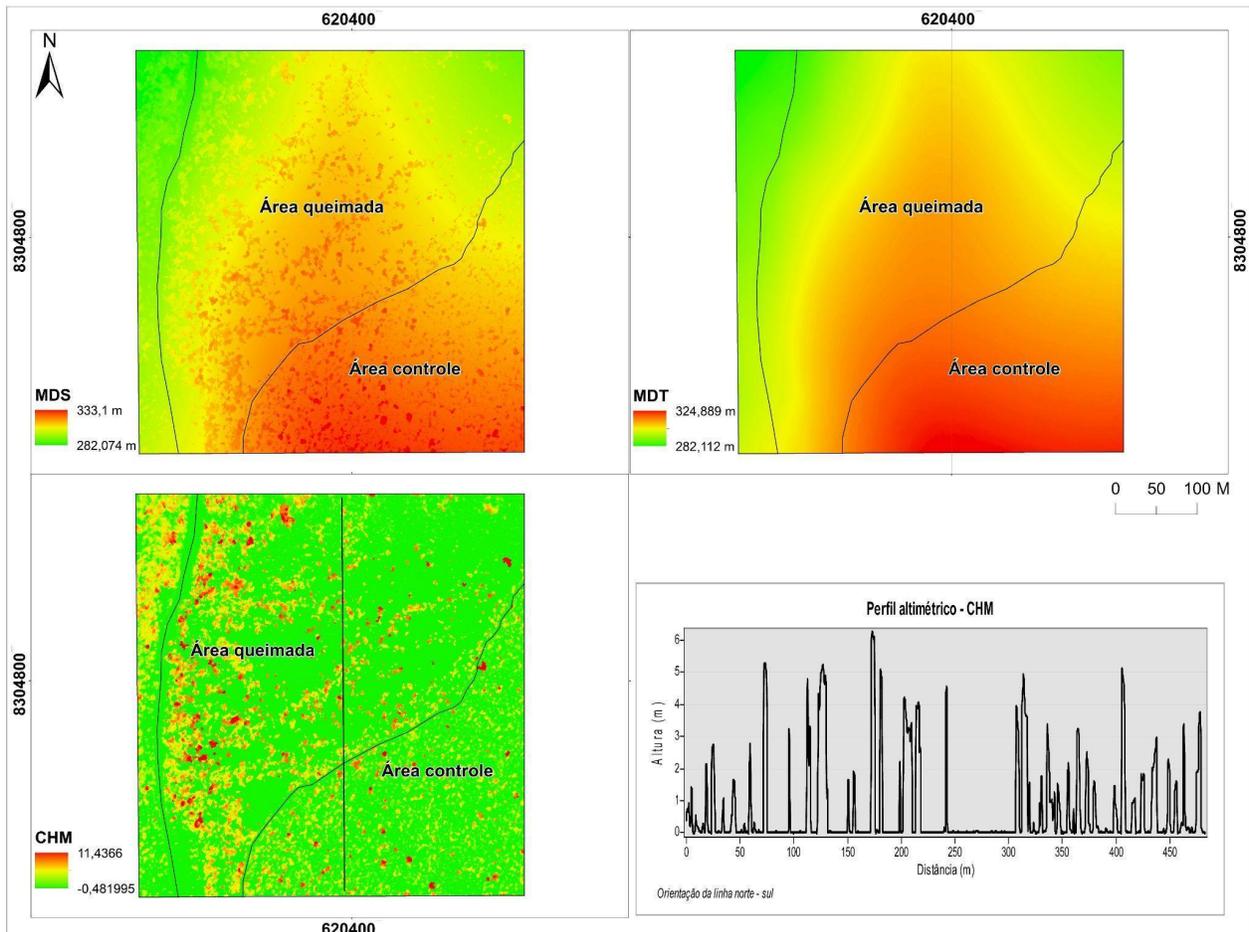
Figura 28. MDS, MDT, MAD e perfil altimétrico da área 1. Canopy Height Model (CHM) é o mesmo que Modelo de Altura de Dossel (MAD).



Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo digital de terreno (MDT), por sua vez, é a representação da superfície do terreno sem os elementos que compõem a superfície (HUNG, et. al. 2018). Os modelos de terreno obtidos nesta pesquisa registraram variações de elevação de 251 a 287 metros, na área 1, 282 a 324 metros na área 2 e 588 a 626 metros na área 3.

Figura 29. MDS, MDT, MAD e perfil altimétrico da área 2. Canopy Height Model (CHM) é o mesmo que Modelo de Altura de Dossel (MAD).

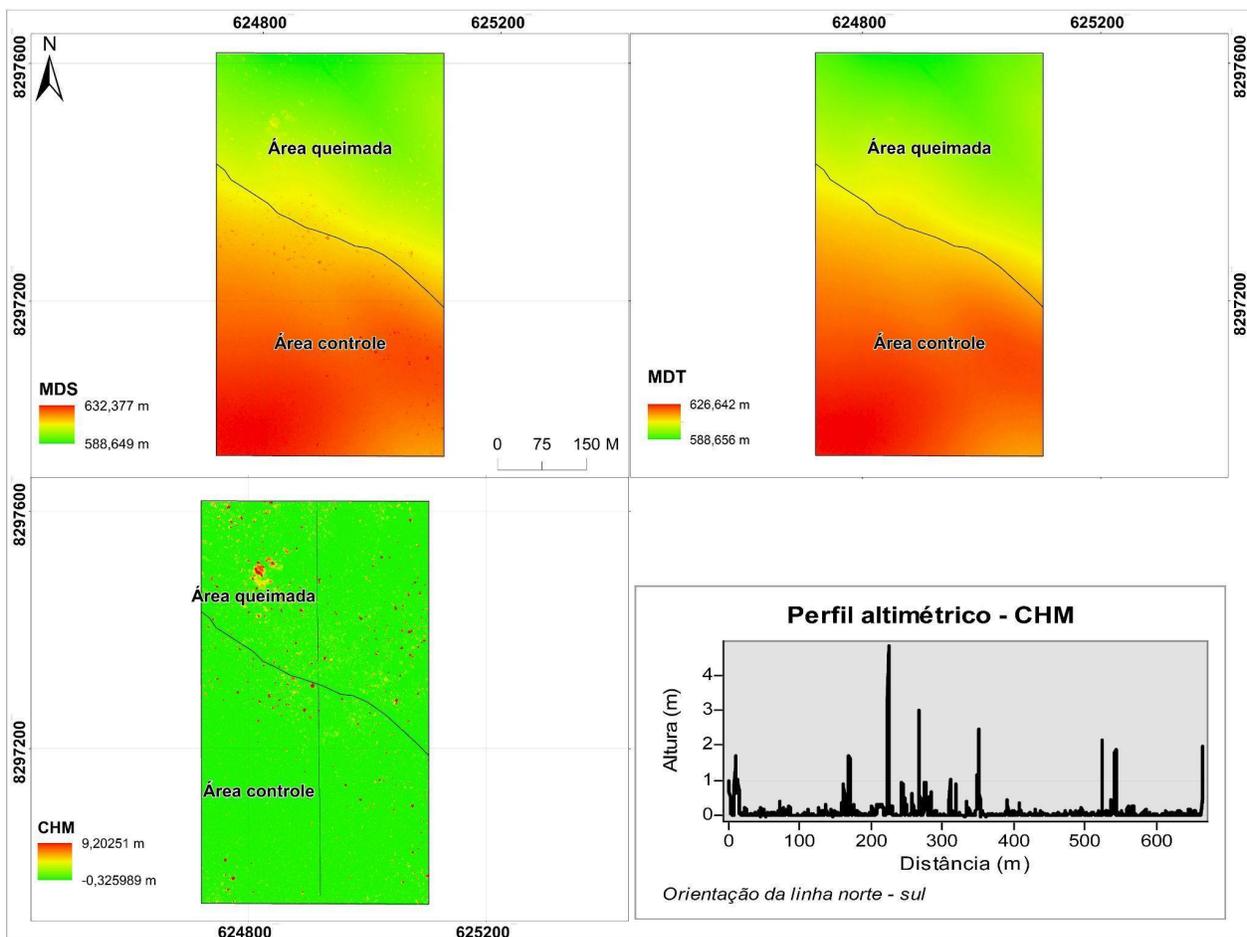


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme descrito anteriormente, o Modelo de Altura de Dossel (MAD), do inglês *Canopy Height Model* (CHM), é a diferença entre o MDT e o MDS. A partir deste modelo é possível estimar a altura das árvores, realizar a contagem de plantas e medir seu espaçamento. A

partir do MAD foi traçada uma linha no centro do dado, com orientação norte-sul, para gerar um perfil altimétrico. Na área 1, o perfil demonstra altura média das árvores menor na área controle. Essa característica se deu pela maior presença de arbustos e gramíneas na área não queimada, de modo que, quando o terreno possui maior cobertura de plantas, e sem tanta informação de nível do solo, o MDT gerado é generalizado para cima. Como a área queimada possui menos arbustivos esse efeito é minimizado. Este efeito pode ser observado nas demais áreas também.

Figura 30. MDS, MDT, MAD e perfil altimétrico da área 3. Canopy Height Model (CHM) é o mesmo que Modelo de Altura de Dossel (MAD).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando o MAD particionado em classes de acordo com sua elevação, foi possível realizar o cruzamento com os dados de NDVI para verificar o valor médio de acordo com a altura. O MAD foi dividido em três classes: até 0,5 metros, 0,5 metros a 1,5 metros, e acima de 1,5 metros. A tabela 1 trás a relação de médias de NDVI para as classes de altura nas três áreas analisadas.

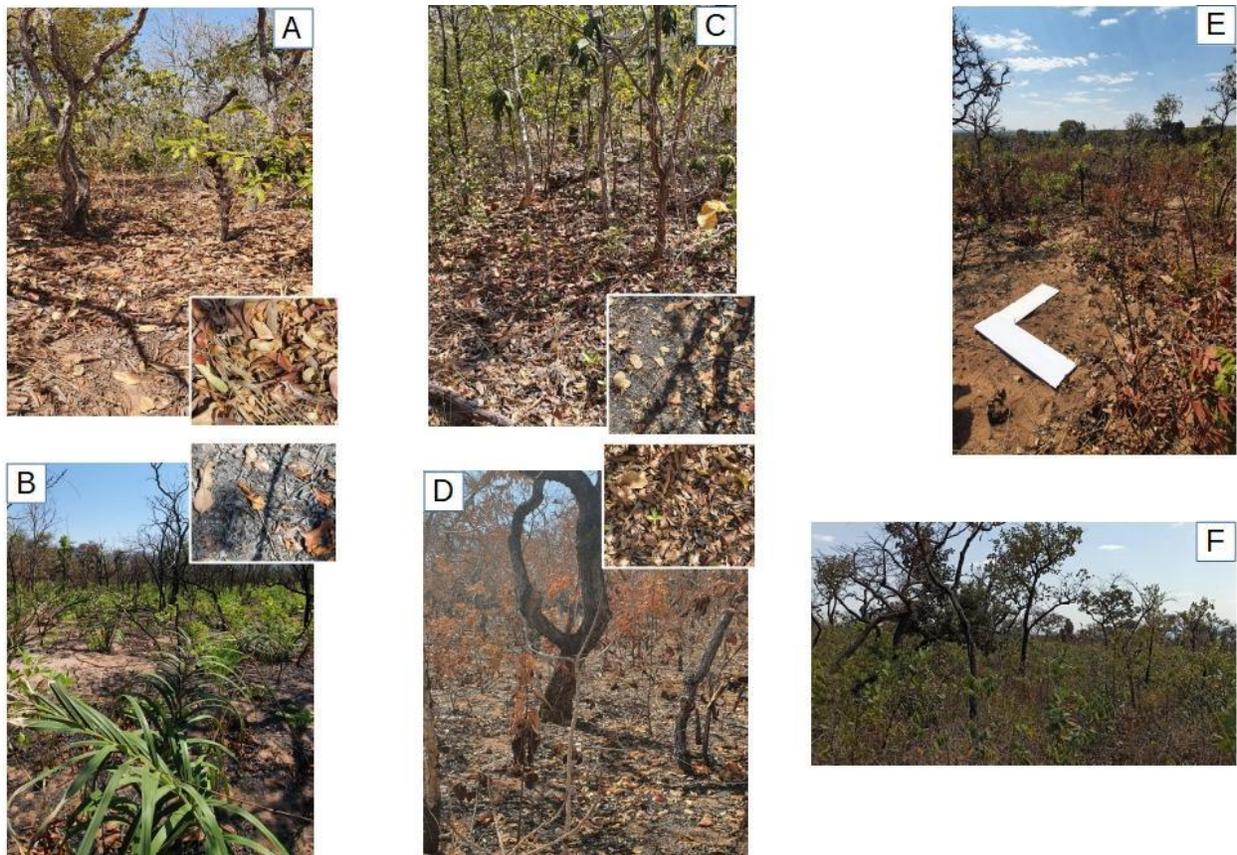
Tabela 1. Relação das médias de NDVI de acordo com a altura do MAD.

	Área queimada			Área controle		
	< 0,5 m	0,5 > 1,5 m	> 1,5 m	< 0,5 m	0,5 > 1,5 m	> 1,5 m
Área 1	0,4051	0,4572	0,4907	0,4261	0,488	0,5005
Área 2	0,2427	0,2843	0,3082	0,4245	0,5085	0,5531
Área 3	0,4014	0,5837	0,5588	0,5081	0,6441	0,6344

Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da realização dos sobrevoos com o drone, o trabalho de campo realizado no PNCG permitiu a constatação da chamada “verdade de campo”. Visitando as três áreas analisadas foi possível observar a condição em que elas se encontravam naquele momento, em agosto de 2021. A figura 31 ilustra as três áreas diferenciando suas parcelas queimadas e de controle. Nas três áreas é possível observar a diferença da quantidade de serrapilheira entre as parcelas, visivelmente menor nas parcelas queimadas das três áreas (B, D e E). Nas áreas, observando a parcela queimada (B), destaca-se o visível rebrotamento da comunidade arbustiva na área, neste tipo de vegetação do Cerrado (RIOS et. al, 2019).

Figura 31. Fotos tiradas em campo das três áreas sobrevoadas. (A) parcela controle da área 1. (B) Parcela queimada da área 1. (C) parcela controle da área 2. (D) parcela queimada da área 2. (E) parcela queimada da área 3. (F) parcela controle da área 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos da realização desta pesquisa era agregar nas discussões a respeito da gestão do MIF. Os resultados alcançados poderão agregar no planejamento dos gestores de Unidades de Conservação e demais áreas protegidas. Além disso, espera-se que, a partir dessa pesquisa, novos trabalhos sejam feitos à fim de complementar este estudo.

Apesar de ser cada vez mais palpável trabalhar com grandes volumes de dados - *Big Data* - em grandes escalas, como para todo o bioma do Cerrado ou todo território brasileiro, seja por

processamentos em nuvem em linguagem de programação ou com a utilização de supercomputadores, a análise em escala regional e local é fundamental para a gestão das áreas protegidas. Em um bioma extenso como o Cerrado, a condição característica do bioma como um todo pode não representar a realidade local/regional.

A análise das cicatrizes de fogo, e de sua recorrência, demonstrou baixa correlação com os dados de precipitação, o que indica, segundo a literatura, influência antrópica. Essa informação corrobora com o apontamento feito pelo Ministério do Meio Ambiente de que apenas uma porcentagem muito pequena dos incêndios florestais é causada naturalmente (COSTA e FERREIRA, 2017).

Embora os resultados obtidos nesta pesquisa com os dados de imagens de satélite possam levar a acreditar que a queima prescrita realizada no início do período da seca, queima precoce, não seja eficaz para cumprir os objetivos do MIF, foi constatado que, desde que bem manejado, a queima precoce também será efetiva. Entretanto, vale ressaltar que os resultados desta pesquisa dizem a respeito apenas ao ano vigente, não sendo possível determinar a efetividade nos anos seguintes. Para tanto, seria necessário repetir os voos com o drone equipado com o sensor multiespectral. A respeito das áreas que foram manejadas nos meses de junho e julho, a correlação entre os dados de drone e satélite foi maior.

Os dados obtidos com Drones possuem bastante potencial para aplicação em estudos de incêndios florestais pela alta resolução, que possibilita obter mais informações a nível de sub-bosque. Com essas informações, de maior resolução espacial (em nível centimétrico), é possível constatar que, apesar da rebrota de algumas plantas, há uma nítida diferença de material no sub-bosque, que é o principal combustível para o fogo nesta fisionomia. Esta informação não pode ser observada em imagens de satélite.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. **Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil**. Resolução nº 419, maio de 2017.

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; LIMA, A.; SHIMABUKURO, Y. E. **Deteção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira**. Acta Amazonica (Impresso), INPA, Manaus, v. 35, n.4, p. 445-456, 2005.

ARAÚJO, F. M.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E. **Distribution Patterns of Burned Areas in the Brazilian Biomes: An Analysis Based on Satellite Data for the 2002-2010 Period**. Remote Sensing, v. 4, p. 1929-1946, 2012.

ARAUJO, F. M.; SILVA, J. R. ; COSTA, J. V. S. **As queimadas e sua relação com o desmatamento no bioma Cerrado**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos-SP. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019. v. 17. p. 3533-3536.

BHANDARI, A. K.; KUMAR, A.; SINGH, G. K. **Feature Extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A case study of Jabalpur City**. Procedia Technology 6, p. 612 - 621. 2012.

BOA MORTE, C. de L.; CARVALHO, L. F. S. G.; BARROS, R. S. **Uso de VANT como ferramenta para estimativa de altura de dossel em manguezal: um estudo investigativo em Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil**. Rev. Tamoios, n. 3, p. 42-51, São Gonçalo-RJ, jul-dez, 2020.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; ENCINA, C. C. C.; SCHICHTING, A. F.; HAUPENTAL, M. R.; PARANHOS FILHO, A. C.; DA SILVA, N. M. **Modelo Digital de Superfície gerado a partir de imagens de VANT**. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande-MS, novembro, 2014.

COSTA, J. V. S.; FERREIRA, M. E. **Mapa de suscetibilidade a incêndios florestais em Unidades de Conservação no Cerrado: um estudo de caso para a Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (Goiás) e Refúgio de Vida Silvestre Veredas do Oeste Baiano (Bahia)**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2017, Santos-SP. Anais do XVIII SBSR, 2017. p. 3041-3048.

DA COSTA, D. E. C. **Ocorrência de fogo no Cerrado: uma abordagem de longo prazo usando sensoriamento remoto**. Instituto de Biociências, UNESP. Rio Claro, 2017.

EISMANN, M. T. **Hyperspectral remote sensing**. Bellingham: SPIE, 2012.

EITEN, G. **Vegetação do Cerrado**. In: PINTO, M. N. Coord. Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas. 2 ed. Brasília: UnB/SEMATEC, 1994. P.9 - 65.

FAGUNDES, M. A. R.; IESCHECK, A. L. **Uso de VANT na cartografia: geração de base cartográfica tridimensional**. Cap. 4. IN Drones e ciência: Teoria e aplicações metodológicas. PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. Vol. 1, FACOS-UFSM, Santa Maria-RS, 2019.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. **Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte**. Acta Scientiarum. Biological Sciences, v. 30, p. 379-390, 2008.

FERREIRA, M. E.; ALVES JR., L. R.; ALBUQUERQUE, R. W.; BROADBENT, E.; ALMEIDA, D. R. A.; AVINO, F. S.; CEZARE, C. H. G.; ZAMBRANO, A. M. A.; WILKINSON, B. ; COSTA, M. O. . **MONITORING THE BRAZILIAN SAVANNA WITH LIDAR AND RGB SENSORS ONBOARD REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS**. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2019, Yokohama. Proceedings of IGARSS 2019, 2019. v. 1. p. 9240-9243.

FIDELIS, A.; Pivello, V. R. **Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?** BIODIVERSIDADE BRASILEIRA, v. 2, p. 12-25, 2011.

FRANÇA, H. **Os Incêndios de 2010 nos Parques Nacionais do Cerrado**. Technical report. Universidade Federal do ABC. 16p. 2010.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; SOARES-FILHO, B.; RODRIGUES, L.; OLIVEIRA, U.; BUSTAMANTE, M. M. C. **Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires**. Frontiers in Forest and Global Change, doi 10.3389, v. 3, pp. 11, 2020.

GONÇALVES, C. N.; MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G.; COSLOPE, L. A.; LINTOMEN, B. S. **Recorrência dos Incêndios e Fitossociologia da Vegetação em Áreas com Diferentes Regimes de Queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Biodiversidade Brasileira, v. 1, p. 161-179, 2011.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing of Environment. 202 (2017) p 18-27.

HUNG, M. N. W. B.; SAMPAIO, T. V. M.; SCHULTZ, G. B.; SIEFERT, C. A. C.; LANGE, D. R.; MARANGON, F. H. S.; DOS SANTOS, I. **Levantamento com Veículo Aéreo Não Tripulado para geração de Modelo Digital do Terrono em bacia experimental com vegetação florestal esparsa**. O Espaço Geográfico em Análise. Temático de Geotecnologias. v. 43. p. 215-231. Curitiba-PR, 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Megadiversidade, Belo Horizonte, v. 1, n.1, p. 147-155, 2005.

MENDONÇA, R. C., FELFILI, J. M., WALTER, B. M. T., SILVA JUNIOR, M. C., RESENDE, A. V., FILGUEIRAS, T. S., NOGUEIRA, P. E. **Flora Vascular do Cerrado**. In S.M. Sano e S.P. Almeida (editores) *Cerrado: ambiente e flora*. Edições Embrapa, Planatina, DF, 556 p. 1998.

MILLER, J. D.; THODE, A. E. **Quantifying burn sererity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)**. Remote Sensing of Environment. 109 (2007) p 66-80.

MUNARETTO, L. **VANT e drones, aeronáutica ao alcance de todos**. 2<sup>a</sup> ed. 2017. Edição do autor.

NASA. **SPACE LASERS: ICESat-2**. Nasa.gov. 2018. Disponível em: <<https://icesat-2.gsfc.nasa.gov/space-lasers>>. Acesso em: 12 de out. de 2019.

NASA. **Return of GEDI's first data reveals the third dimension of forests**. Nasa.gov. 2019. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/return-of-gedi-s-first-data-shows-forests-topography>> Acesso em: 12 de out. 2019.

NASCIMENTO, D. T. F.; DE SOUZA NETO, J. M.; NUNES, L. C. **Definição dos anos-padrão para o estudo da pluviometria do estado de Goiás e do Distrito Federal**. Brazilian Geographical Journal. Geosciences and Humanities research medium, Ituiutaba, v. 6, n. 1, p. 272 - 290, jan./jun. 2015.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. **Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidade e tipologias climáticas**. Élisée, Rev. Geo. UEG - Goiás, v.9, n.2, ju./dez. 2020.

NASCIMENTO, D. T. F.; MARTINS, A. P.; LUIZ, G. C.; LOPES, R. M. **Climatologia do Cerrado**. Goiânia: Editora Alfa, 2021.

NETO, R. P. M.; BREUNIG, F. M. **Drones nas ciências florestais**. Cap. 5. IN Drones e ciência: Teoria e aplicações metodológicas. PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. Vol. 1, FACOS-UFSM, Santa Maria-RS, 2019.

PEREIRA JUNIOR, A. C.; OLIVEIRA, S. L. J.; PEREIRA, J. M. C.; TURKMAN, M. A. A. **Modelling Fire Frequency in a Cerrado Savanna Protected Area**. PLoS ONE. 9(7). e102380. 2014.

REIS, C. R. **Mapeamento das restrições operacionais e ambientais numa área de Floresta Amazônica por meio do escaneamento laser aerotransportado**. 2018. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: Sueli Matiko Sano; Semiramis P. de Almeida. (Org.). CERRADO: ambiente e flora. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 1998, v. , p. 87-166.

RIOS, M. N. da S.; SOUSA-SILVA, J. C.; MEIRELLES, M. L. **Dinâmica pós-fogo da vegetação arbóreo-arbustiva em Cerrado Sentido Restrito no Distrito Federal**. Biodiversidade. V. 18, N1. 2019.

ROCHA, M. I. S. **Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado entre 1999 e 2018**. Programa de pós-Graduação em Geografia, UEG. Anápolis-GO, 2021.

SANO, E. E.; ROSA, R.; SCARAMUZZA, C. A.; ADAMI, M. ; BOLFE, EDSON L.; COUTINHO, A. C. ; ESQUERDO, J. C. ; MAURANO, L. E. ; NARVAES, I. S. ; OLIVEIRA FILHO, F. J. ; SILVA, E. B. ; VICTORIA, D. C. ; FERREIRA, L. G. ; BRITO, J. L. ; BAYMA, ADRIANA PANHOL; OLIVEIRA, G. H.; SILVA, G. B. S. . **Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013**. PESQUISA AGROPECUARIA BRASILEIRA, v. 54, p. 1-5, 2019.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO, M. N. **Experiências Internacionais de Manejo Integrado do Fogo em Áreas Protegidas - Recomendações para Implementação de Manejo Integrado de Fogo no Cerrado**. Biodiversidade Brasileira, 6(2). 41-54, 2016.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO, M. N. **Implementação do Programa Piloto de Manejo Integrado do Fogo em Três Unidades de Conservação do Cerrado**. Biodiversidade Brasileira, 6(2). 55 - 70, 2016.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; DOS SANTOS, J. G. M. **Método do cálculo do risco de fogo do programa do INPE - versão 11, junho/2019**. INPE, São José dos Campos, 2019.

SILVA, S. D. **Challenging the Environmental History of the Cerrado: Science, Biodiversity and Politics on the Brazilian Agricultural Frontier**. Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) Revista de La Solcha 10, no. 1, 82-116 p, maio, 2020.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. **Caracterização climática do bioma Cerrado**. Cerrado: ecologia e flora: 2008, v. 1, p. 71-88.

SOUZA JR, C. **MapBiomas General Handbook**; MapBiomas: São Paulo, Brazil, 2017; pp. 1-23.

TANG, L.; SHAO, G. **Drone remote sensing for forestry research and practices**. Journal of Forestry Research, 26(4), 791 – 797, 2015.