



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.18.03.01-TDI

**MAPEAMENTO E MONITORAMENTO DE ÁREAS
QUEIMADAS NO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA
(DF) E PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS
VEADEIROS (GO) UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT
TM E OLI NO PERÍODO DE 2000 A 2020**

Tânia Beatriz Hoffmann

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação
em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Yosio Edemir
Shimabukuro, aprovada em 16 de
agosto de 2022.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47R2SU8>](http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47R2SU8)

INPE
São José dos Campos
2022

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.18.03.01-TDI

**MAPEAMENTO E MONITORAMENTO DE ÁREAS
QUEIMADAS NO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA
(DF) E PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS
VEADEIROS (GO) UTILIZANDO IMAGENS LANDSAT
TM E OLI NO PERÍODO DE 2000 A 2020**

Tânia Beatriz Hoffmann

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação
em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Yosio Edemir
Shimabukuro, aprovada em 16 de
agosto de 2022.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47R2SU8>](http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47R2SU8)

INPE
São José dos Campos
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Hoffmann, Tânia Beatriz.

H675m Mapeamento e monitoramento de áreas queimadas no Parque Nacional de Brasília (DF) e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO) utilizando imagens Landsat TM e OLI no período de 2000 a 2020 / Tânia Beatriz Hoffmann. – São José dos Campos : INPE, 2022.

xx + 82 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.18.03.01-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2022.

Orientador : Dr. Yosio Edemir Shimabukuro.

1. Identificação de áreas queimadas. 2. Landsat. 3. Cerrado.
4. Unidades de conservação. 5. Google earth engine. I.Título.

CDU 528.8:630*432



Esta obra foi licenciada sob uma [Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Secretaria de Pós-Graduação - SEPGR

**DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DE TÂNIA BEATRIZ HOFFMANN
BANCA Nº 216/2022, REG 326983/2020**

No dia 16 de agosto de 2022, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

Título: “Mapeamento e monitoramento de áreas queimadas no Parque Nacional de Brasília (DF) e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (GO) utilizando imagens Landsat TM e OLI no período de 2000 a 2020”

Membros da banca:

Dra. Ieda Del'Arco Sanches – Presidente – INPE

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro – Orientador – INPE

Dr. Gabriel Pereira – Membro Externo – UFSJ



Documento assinado eletronicamente por **Ieda Del Arco Sanches, Pesquisador**, em 16/08/2022, às 14:36 (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 **Yosio Edemir Shimabukuro, Pesquisador**, em 16/08/2022, às 14:53 (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 **Gabriel Pereira (E), Usuário Externo**, em 17/08/2022, às 15:37 (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.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **10278156** e o código CRC **C5A6CDEA**.

“In the vastness of space and the immensity of time, it is my joy to share a planet and an epoch with you”.

Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus que me deu saúde, ânimo, fé e que sempre esteve ao meu lado. À minha família por todo apoio e suporte, em especial aos meus pais Faldi e Valdemar pelo encorajamento na realização deste grande sonho. Aos meus irmãos Jaqueline e Valdecir por estarem sempre comigo, nos momentos alegres e difíceis. Aos meus sobrinhos Manuela e Arthur, por agraciarem os dias com leveza e alegria.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, em especial ao meu orientador Dr. Yosio Edemir Shimabukuro, agradeço pela oportunidade, por todos os ensinamentos recebidos, pela orientação e apoio ao longo desses anos.

Aos meus colegas e amigos da turma de 2020, que foram essenciais em meio aos momentos desafiadores da pandemia, em especial Gabriel Máximo, Isadora Haddad, Karolina Gameiro, Maíra Mathias e Philipe Simões. Agradeço pelas conversas, pelo companheirismo, apoio e inúmeros aprendizados.

Aos meus amigos de INPE Andeise Dutra, Henrique Cassol e Dr. Egidio Arai, pela parceria nas validações de campo e durante todos os dias ao longo desses anos, agradeço toda a paciência, ensinamentos e ajudas.

Aos meus amigos Lindomar, Henriette, Leonardo, Gabriela, Ana, Cristian e Karine e pela boa companhia, pelas boas conversas e por todo o apoio.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado (131043/2020-0).

A todos aqueles que estiveram comigo ao longo dessa jornada.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar a recorrência de fogo em duas unidades de conservação do bioma Cerrado e em suas zonas de amortecimento (buffer de 10km). Para isso, foram selecionadas as áreas do Parque Nacional de Brasília (PNB), no Distrito Federal e do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), no estado de Goiás. Para identificação das cicatrizes de queimada foram utilizadas imagens dos sensores TM e OLI a bordo dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, respectivamente. O processamento das imagens para a identificação e mapeamento das áreas queimadas foi feito em ambiente de programação *Google Earth Engine*. Os resultados obtidos foram comparados com as áreas queimadas do produto MCD64A1, Mapbiomas Fogo e o Monitoramento de Queimadas do INPE. Após o mapeamento das cicatrizes as áreas foram sobrepostas com o mapeamento de uso e cobertura da terra disponibilizado pelo Mapbiomas. As classes com maior ocorrência de queimada foram as de formação savânica, formação campestre e pastagem. Além disso, obteve-se uma série histórica de cicatrizes de queimada para o período de 2000 - 2020, auxiliando na compreensão da dinâmica de fogo nessas unidades de conservação. Dessa maneira, foi possível identificar diferentes padrões de fogo nas unidades de conservação, onde o PNB conta com maior ocorrência de queimada na zona de amortecimento (10km) e o PNCV conta com maior recorrência de queimada no interior na unidade de conservação. Em relação a comparação com os mapeamentos de áreas queimadas dos produtos MCD64A1 e Mapbiomas Fogo, os valores foram similares na maioria dos anos analisados.

Palavras-chave: Identificação de áreas queimadas. Landsat. Cerrado. Unidades de conservação. Google Earth Engine.

MAPPING AND MONITORING BURNED AREAS IN BRASÍLIA NATIONAL PARK (DF) AND CHAPADA DOS VEADEIROS NATIONAL PARK (GO) USING LANDSAT TM AND OLI IMAGES FROM 2000 TO 2020

ABSTRACT

This study aims to analyze the recurrence of fire in two conservation areas of the Cerrado biome and their buffer zones (10km buffer). For this, the Brasília National Park (BNP) in the Federal District and the Chapada dos Veadeiros National Park (CVNP) in the state of Goiás, were selected. For the identification of burn scars, images from TM and OLI sensors on board the Landsat-5 and Landsat-8 satellites, respectively, were used. The image processing for the identification of burned areas was done in Google Earth Engine programming environment. The obtained results were compared with the burned areas of the MCD64A1 product, Mapbiomas Fogo and the Burning Monitoring of INPE. After mapping the burning scars, these areas were overlaid with the land use and land cover map provided by Mapbiomas. The classes with the highest occurrence of burning were the savanna formation, grassland formation and pasture. In addition, it was obtained a historical series with identification of burning scars for the period 2000 - 2020, helping to understand the fire dynamics in the conservation units. In that manner, it was possible to identify different fire patterns in the conservation units, i.e., while the BNP presents a higher occurrence of burning in the buffer zone (10km), the CVNP presents a higher occurrence of burning inside the conservation unit. In relation to the comparison with the burned area of the MCD64A1 product and Mapbiomas Fogo, the values were similar in most of the years analyzed.

Keywords: Identification of burned areas. Landsat. Cerrado. Conservation Units. Google Earth Engine.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Localização do Bioma Cerrado e áreas de proteção e preservação.	8
Figura 2.2 – Exemplo de curva de NDVI de uma área onde ocorreu queimada.	14
Figura 2.3 – Exemplo de curva de NBR2 de uma área onde ocorreu queimada.	15
Figura 3.1 – Localização da área de estudo do PNB.	25
Figura 3.2 – Uso e cobertura da terra do PNB de acordo com as classes do projeto Mapbiomas.	27
Figura 3.3 – Relevo do PNB de acordo com dados do SRTM.	27
Figura 3.4 – Localização da área de estudo do PNCV.....	30
Figura 3.5 – Uso e cobertura da terra do PNCV de acordo com as classes do projeto Mapbiomas.	32
Figura 3.6 – Relevo do PNCV de acordo com dados do SRTM.....	32
Figura 4.1 – Atividades desenvolvidas.	34
Figura 4.2 – Áreas com afloramentos rochosos no PNCV.	36
Figura 4.3 – Principais classes de uso e cobertura da terra utilizadas no estudo.	40
Figura 5.1 – Pontos e área de queimada disponibilizados pelos gestores do PNB.	44
Figura 5.2 – Áreas de queimada disponibilizados pelos gestores do PNCV....	45
Figura 6.1 – Comparativo de áreas queimadas no interior do PNB (2000-2020).	49
Figura 6.2 – Áreas queimadas no parque e na zona de amortecimento para o PNB.	51
Figura 6.3 – Áreas queimadas no PNB (2000-2018).....	52
Figura 6.4 – Áreas queimadas no PNB (2019-2020).....	53
Figura 6.5 – Recorrência de queimadas no PNB (2000-2020).....	53

Figura 6.6 – Classes de recorrências de queimadas para o PNB (2000-2020). .	
.....	54
Figura 6.7 – Vegetação na margem da represa Santa Maria.....	56
Figura 6.8 – Comparativo de áreas queimadas no interior do PNCV (2000-2020).	57
Figura 6.9 – Áreas queimadas no parque e na zona de amortecimento para o PNCV.	59
Figura 6.10 – Áreas queimadas no PNCV (2000-2018).	60
Figura 6.11 – Áreas queimadas no PNCV (2019-2020).	61
Figura 6.12 – Recorrência de queimadas no PNCV (2000-2020).	61
Figura 6.13 – Classes de recorrência de queimadas para o PNCV (2000-2020).	62

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Unidades de conservação federais nos biomas brasileiros e área do bioma preservada.....	7
Tabela 2.2 - Exemplos de mapeamentos de área queimada em áreas de Cerrado/Savana com base em dados do Landsat.	9
Tabela 2.3 – Satélites Landsat lançados até o ano de 2022.....	19
Tabela 2.4 – Especificações dos sensores TM, ETM+ e OLI.....	20
Tabela 3.1. Classes de uso e cobertura da terra (em ha) para o PNB e zona de amortecimento.....	26
Tabela 3.2. Classes de uso e cobertura da terra (em ha) para o PNCV e zona de amortecimento.....	31
Tabela 4.1. Acurácias de classificação a partir do uso de diferentes índices...	38
Tabela 5.1 - Uso de pontos na validação da classificação de áreas queimadas no PNB.....	42
Tabela 5.2 - Uso de pontos na validação da classificação de áreas queimadas no PNCV.	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAR	Cadastro Ambiental Rural
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
FIRMS	Fire Information for Resource Management System
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MAPBIOMAS	Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MDT	Modelo Digital de Terreno
MIF	Manejo Integrado do Fogo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Normalized Burn Ratio
NBR2	Normalized Burn Ratio 2
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
PNB	Parque Nacional de Brasília
PNCV	Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros
RF	Random Forest
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 Unidades de conservação no bioma Cerrado	6
2.2 Identificação de áreas queimadas	8
2.3 Fitofisionomias do Cerrado	11
2.4 Índices espectrais na identificação de áreas queimadas	13
2.4.1 NDVI.....	13
2.4.2 NBR2.....	14
2.5 Random Forest	15
2.6 Dados de sensoriamento remoto	16
2.6.1 Sensor MODIS	16
2.6.1.1 Produto MCD64A1 – área queimada	17
2.6.1.2 Focos de queimada	17
2.6.2 Satélites Landsat.....	18
2.6.3 Mapbiomas.....	20
2.6.3.1 Uso e cobertura da terra	21
2.6.3.2 Mapbiomas Fogo	22
3 ÁREA DE ESTUDO	24
3.1 Parque Nacional de Brasília	24
3.2 Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros	28
4 METODOLOGIA	34
4.1 Aquisição de imagens Landsat	35
4.2 Amostras de treinamento para classificação de queimada.....	35
4.3 Mapeamento de áreas queimadas	37
4.4 Recorrência de queimadas e classe de uso e cobertura	38
5 VALIDAÇÃO DE CAMPO	41
5.1 Parque Nacional de Brasília	41
5.2 Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros	42

5.3 Áreas de queimada controlada	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
6.1 Índices de vegetação na identificação de áreas queimadas.....	47
6.2 Área queimada	47
6.2.1 Áreas queimadas (PNB).....	49
6.2.2 Áreas queimadas e recorrência de queimadas (PNCV).....	57
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
APÊNDICE A.....	77

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado, também chamado de Savana brasileira, é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km² que corresponde a cerca de 22% do território brasileiro (MMA, 2020). O clima predominante no Cerrado é o tropical-quente-subúmido com temperatura média anual variando de 21,3 a 27,2°C e conta com duas estações bem definidas, uma estação seca, que ocorre entre os meses de maio a setembro e outra chuvosa que ocorre entre os meses de outubro a abril. A precipitação média anual é de 1500 ± 500 mm (EMBRAPA, 2012) contudo é importante destacar que na estação chuvosa está concentrada cerca de 90% da precipitação anual (WALTER, 1986).

O bioma Cerrado é considerado um *hotspot* de biodiversidade (JACON et al., 2017) e conta com mais de 12.000 espécies vegetais, sendo 44% delas endêmicas (SIMON et al., 2009). Além disso, algumas espécies são adaptadas ao fogo, que pode ocorrer de forma natural, através de descargas elétricas, ou a partir de interferência humana. Algumas espécies contam com cascas grossas e resistentes a passagem do fogo, o que garante sua sobrevivência (DANTAS; BATALHA; PAUSAS, 2013). Apesar de toda sua rica biodiversidade a vegetação nativa do Cerrado vem perdendo espaço para atividades agropecuárias (SANO et al., 2019a).

O Cerrado é o terceiro bioma com maior perda de área e conta com remoção de 45,6% da vegetação original. Em primeiro lugar está a Mata Atlântica, que teve 71% da vegetação nativa removida, seguida pelo Pampa com 54% de remoção (MAPBIOMAS, 2020a).

A ocupação do Cerrado brasileiro foi intensificada na década de 1970, quando a vegetação nativa deu lugar a grandes áreas de pastagem e a grandes lavouras de soja, milho, algodão e café, destinadas principalmente a exportação (SANO et al., 2010). A produção só foi possível devido a adaptação dos cultivos às condições existentes no Cerrado. Outros fatores que justificam a ocupação do Cerrado é a possibilidade de mecanização da agricultura na região, em decorrência do relevo plano e a rica disponibilidade de água na região, fatores

que favorecem a agricultura de larga escala e contribuem para o bioma ser a maior fronteira agrícola no Brasil (SANO et al., 2019a).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a primeira variedade de soja adaptada ao bioma Cerrado foi lançada em 1980, a partir de então a soja passou a ser muito cultivada na região (EMBRAPA, 2016). Estima-se que atualmente as lavouras de soja no Cerrado sejam responsáveis por 51% da produção nacional (AGROSATELITE, 2020). Além disso, estima-se que a pecuária no Cerrado seja responsável por 35% do contingente bovino nacional (VIU et al., 2007), o que tem causado altas taxas de desmatamento no bioma. De acordo com os dados do Mapbiomas, no ano de 2020 apenas 54,4% da cobertura era nativa, abrangendo principalmente as classes de formação florestal, campestre e savânica (MAPBIOMAS, 2020a).

O código florestal brasileiro, que dispõe sobre as áreas de reserva legal para as propriedades rurais, difere para os biomas nacionais. Nesse sentido, a área de reserva das propriedades rurais situadas no bioma Amazônico é de 80% enquanto a reserva em imóveis situados no bioma Cerrado é de 35%, e para imóveis localizados em áreas de campos gerais a área destinada a reserva é de 20% (PLANALTO, 2012).

Esses fatores contribuem para mostrar a realidade da remoção da vegetação nativa do bioma, onde a taxa de desmatamento do Cerrado é superior à da Amazônia Legal (SANO et al., 2019b). Considerando o período de 2002 – 2013 a taxa de desmatamento no Cerrado foi de 0,41% ao ano, enquanto a taxa de desmatamento na Amazônia Legal foi de 0,29% ao ano para o mesmo período (SANO et al., 2019b). Além disso, o Cerrado é o bioma brasileiro que sofreu a maior ocorrência de incêndios considerando o período de 2001 a 2019 (OLIVEIRA, 2022).

A problemática de remoção de vegetação nativa no Cerrado brasileiro ainda é uma realidade atual. De acordo com os dados divulgados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) que são produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no ano de 2021 cerca de 4.827,43 km² do bioma contaram com alertas de desmatamento no sistema de Detecção de

Desmatamento em Tempo Real (DETER) do governo federal responsável por gerar alertas rápidos de alteração da cobertura florestal no Cerrado e na Amazônia (INPE, 2022a).

Buscando preservar a rica biodiversidade brasileira, áreas de proteção foram criadas em todos os biomas nacionais – incluindo o Cerrado. De acordo com dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o Brasil conta com 334 unidades de conservação federais (ICMBIO, 2022a). Nesse sentido, o Cerrado conta com apenas 8,21% de área legalmente protegida e apenas 2,85% do bioma é protegido por unidades de conservação de proteção integral (DE OLIVEIRA et al., 2020).

As unidades de conservação são de fundamental importância para manutenção e preservação de espécies de um bioma. Para assegurar a proteção da fauna e da flora nas unidades de conservação é preciso ainda que as áreas adjacentes, conhecidas como zonas de amortecimento, também sejam cuidadas e monitoradas (PLANALTO, 1990). No Brasil, essa zona de amortecimento é definida pelo Decreto 99.274/1990 no art. 27 e considera um raio de dez quilômetros do limite da unidade, sendo essa área subordinada às normas editadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (PLANALTO, 1990) e consideram qualquer atividade que possa afetar a biota ficará subordinada às normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) discorre, no art. 2, inciso XVIII Lei nº 9.985/2000, que as atividades humanas nos entornos das unidades de conservação estão sujeitas a normas e restrições (PLANALTO, 2000).

As mudanças de uso e cobertura da terra que ocorrem no bioma podem impactar também as áreas protegidas, isso porque muitas áreas de vegetação nativa são convertidas em outros usos, principalmente pecuária e agricultura (BEUCHLE et al., 2015). Essa conversão de uso além de diminuir as áreas de vegetação nativa provoca alterações na dinâmica de fogo (SANTOS, 2014), causada por diferentes fatores, como o manejo da pastagem (PIROMAL et al., 2008).

O manejo de pastagens destinadas ao gado, por exemplo, é muitas vezes realizado com o uso do fogo com o intuito de acelerar o processo de rebrota da vegetação (PIROMAL et al., 2008). Ocorre que muitas unidades de conservação no Cerrado contam com áreas de pastagens em sua zona de amortecimento, e por vezes no interior da própria unidade de conservação. Nesse sentido, as práticas de manejo das pastagens interferem na dinâmica de proteção e manejo de unidades de conservação (ICMBIO, 2007).

Outra problemática encontrada em unidades de conservação está relacionada ao acúmulo de biomassa, causado principalmente por conta das ações de proteção intensiva nas unidades, que controlam todas as fontes de ignição nos limites e imediações das áreas protegidas. Buscando amenizar esses grandes acúmulos de biomassa, está sendo discutida, através de projeto de lei da “Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo” (PLANALTO, 2018), a realização de queimadas controladas em áreas de grande acúmulo de biomassa, com o objetivo de diminuir a ocorrência de grandes incêndios florestais.

Buscando compreender melhor o contexto das mudanças e das ocorrências no bioma Cerrado, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos. Alguns destes trabalhos visam identificar as áreas queimadas no bioma (ARRUDA et al., 2021; INPE, 2022a; MELO et al., 2021; PEREIRA, et al., 2021) e identificar as classes com maior ocorrência de queimada (PEREIRA JÚNIOR, 2014) e outros buscam identificar as mudanças de uso e cobertura da terra (MAPBIOMAS, 2022b; ALENCAR, 2020), os trabalhos recentes buscam, além de identificar a localização das áreas queimadas e classes com maior ocorrência de queima, realizar um comparativo ao longo dos anos e das classes.

O presente trabalho busca trazer contribuições nesse contexto de análise, considerando as cicatrizes de área queimada para os parques selecionados, sendo eles PNB e PNCV. Além disso, busca fazer um comparativo entre as áreas, que contam com distintas configurações de relevo, uso do solo e manejo.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho consiste na identificação e mapeamento de áreas queimadas nas unidades de conservação do Parque Nacional de Brasília (PNB)

e Parque Nacional da Chapada do Veadeiros (PNCV) do bioma Cerrado e suas áreas de amortecimento (10km). Além disso, busca estabelecer uma relação entre área queimada e classe de uso e cobertura da terra considerando o período de 2000 a 2020.

Para alcançar o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Mapear as cicatrizes de queimada nas duas unidades de conservação no período de 2000 – 2020 e estabelecer a recorrência de fogo nas áreas de estudo utilizando o conjunto de imagens Landsat TM e OLI;
- Analisar o uso e cobertura da terra a cada 5 anos para o período de análise (2000, 2005, 2010, 2015 e 2020) a partir dos dados do Mapbiomas buscando verificar se houve alteração expressiva nas classes ao longo dos anos;
- Analisar o padrão de queimada nas duas unidades de conservação, a partir do comparativo entre os dois parques, com distintas configurações de relevo e de combate ao fogo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Unidades de conservação no bioma Cerrado

As recentes mudanças de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado, juntamente com a interferência humana, provocam alteração na dinâmica de fogo de ecossistemas savânicos (ALVARADO et al., 2018). A interferência humana, através da remoção da vegetação com a prática de queimadas, altera o regime de fogo que, por sua vez, favorece o aparecimento de vegetações adaptadas ao fogo, como as florestas secas sob influência de fogo, deste modo o bioma, mesmo em áreas preservadas, sofre alterações ao longo dos anos (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002).

Buscando preservar a biodiversidade do Cerrado foram criadas as Unidades de Conservação. Existem dois tipos de unidades de conservação, as de proteção integral, tais como estações ecológicas, reservas biológicas, parques nacionais, monumentos naturais e refúgios de vida silvestre, e as unidades de uso sustentável, como áreas de preservação ambiental, áreas de relevante interesse ecológico, florestas nacionais, reservas extrativistas, reservas de fauna, reservas de desenvolvimento sustentável e reservas particulares de patrimônio natural (ICMBIO, 2022a).

As unidades de conservação de proteção integral são aquelas que possuem a legislação mais restritiva em relação ao seu uso, com objetivo de manter preservada a natureza com o mínimo de interferência humana, assim, só são permitidas atividades que não envolvem consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais (ICMBIO, 2022a). O Brasil conta com 334 unidades de conservação federais (Tabela 2.1) sendo 45 delas no bioma Cerrado (ICMBIO, 2022a).

Tabela 2.1 – Unidades de conservação federais nos biomas brasileiros e área do bioma preservada.

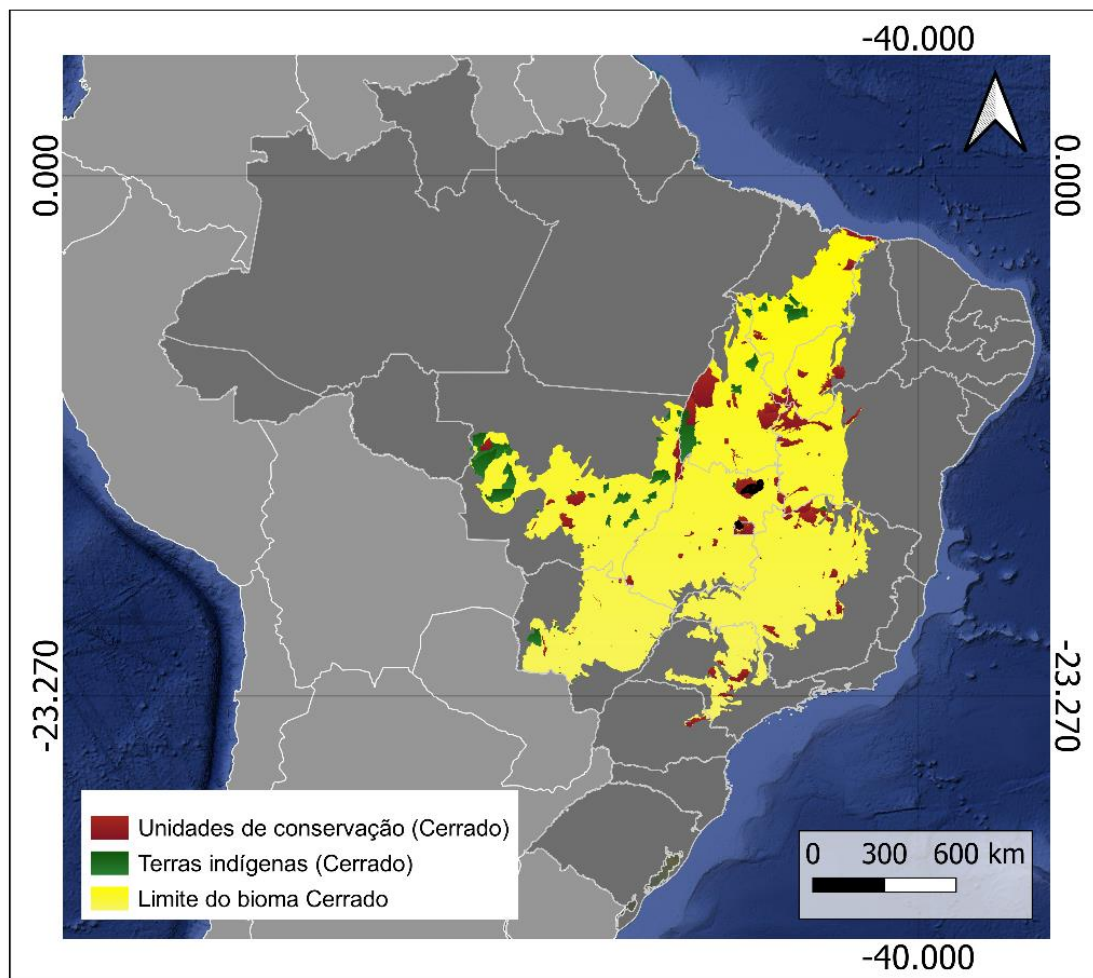
Bioma	Nº de UC federais	Área preservada (%)
Marinho costeiro*	26	25,8
Amazônia	128	15,3
Caatinga	27	5,0
Mata atlântica	103	3,8
Cerrado	45	3,2
Pampa	3	2,2
Pantanal	2	1,0

* Marinho Costeiro é uma transição entre os ecossistemas continentais e marinhos.

Fonte: Adaptado de ICMBio (2022).

Mesmo com toda sua extensão o bioma Cerrado conta com apenas 3,2% de sua área integralmente protegida por unidades de conservação sendo, deste modo, o terceiro bioma brasileiro menos protegido. A distribuição espacial das unidades de conservação do bioma, que somam 147.698,10 km², e as áreas destinadas às terras indígenas (103 áreas que somam 94.817,90 km²) podem ser visualizadas na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Localização do Bioma Cerrado e áreas de proteção e preservação.



Fonte: Produção da autora.

2.2 Identificação de áreas queimadas

O fogo é considerado uma ocorrência comum nos cerrados e também nos ecossistemas de savana (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002), nesse sentido, algumas espécies do bioma Cerrado são adaptadas ao fogo, já que ignições podem ocorrer de maneira natural na região, principalmente durante o período seco (ALVARADO et al., 2018), quando há predominância de altas temperaturas e baixa umidade do ar, condições que favorecem a ocorrência de incêndios florestais, principalmente através da incidência da combustão espontânea (OLIVEIRA; MARQUIS, 2002).

Estudos recentes, a partir de imagens Landsat, objetivam a identificação de áreas queimadas no Cerrado e em outras regiões do globo em áreas de Savana

(Tabela 2.2). Esses estudos buscam entender as ocorrências, as dinâmicas de fogo e as interferências antrópicas através das mudanças de uso e cobertura da terra.

Tabela 2.2 - Exemplos de mapeamentos de área queimada em áreas de Cerrado/Savana com base em dados do Landsat.

Autor	Objetivo	Índices utilizados
Grupo de Monitoramento de Queimadas do INPE (2022)	Identificar as áreas queimadas no Brasil a partir da análise de órbitas ponto prioritárias	NBR e NDVI
Arruda, Vera L.S. et al. (2021)	Identificar áreas queimadas no bioma Cerrado (2017) e comparar com MCD64A1 e dados do INPE	NBR e NDVI
Pereira, Allan A. et al. (2021)	Identificar áreas queimadas no bioma Cerrado (2015) e comparar com MCD64	NBR2 e NDVI
Melo, Pedro et al. (2021)	Identificar áreas queimadas em terras indígenas do Cerrado	NBR, NBR2 e NDVI
Liu, Jinxiu et al. (2021)	Comparação de 11 índices espectrais na identificação de áreas queimadas em área de Savana no sul de Burkina Faso (África)	BAI, BAIMs, BAIML, MIRBI, CSI, NDVI, NBR, NBR2, GEMI, SAVI, EVI
Mpakairi, Kudzai et al. (2020)	Analisar o uso de bandas do infravermelho de ondas curtas e do azul na identificação de áreas queimadas no noroeste do Zimbábue	BAI, CSI, DBSI, NBR, NDVI, OSAVI

Fonte: Produção da autora.

Para entender a dinâmica de fogo nos Cerrados e Savanas é importante considerar também o contexto sob o qual uma área está inserida e se está sob

influência antrópica. Isso porque interferências antrópicas podem alterar a dinâmica de fogo das regiões, tanto para o aumento dessas ocorrências, como práticas que visam acelerar o processo de rebrota da vegetação, por exemplo, quanto para a diminuição das ocorrências de fogo, onde são adotadas práticas de manejo de contenção do fogo, como ocorre nas unidades de conservação, onde a adoção dessa medida pode provocar um grande acúmulo de biomassa da vegetação. Essa vegetação acumulada, em anos de estiagem prolongada, favorece a propagação de queimadas após a ocorrência de pequenas ignições de fogo (ICMBIO, 2009).

Buscando mitigar ocorrências de grandes incêndios florestais, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) desenvolveu um plano para o Manejo Integrado do Fogo (MIF), que tem como objetivo buscar um equilíbrio entre os benefícios e os danos do fogo nas áreas de proteção do Cerrado (MMA, 2021). Essas ações estão previstas em lei a partir da PORTARIA Nº 3.899, de 24 de dezembro de 2018 em seu Capítulo II: “Art. 6º As ações de Manejo Integrado do Fogo (MIF) serão prioridade do Programa de Brigadas Federais, como meio de prevenção aos grandes incêndios florestais” (PLANALTO, 2018). Para a realização do MIF são feitas análises dos impactos, da dinâmica e das causas do fogo, para isso é necessário o monitoramento das áreas, realizado a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto, que incluem: as áreas queimadas e a intensidade do fogo, o acúmulo de biomassa e a biomassa queimada (MMA, 2021).

Com uso dessas informações é feito o planejamento do manejo do fogo, com a adoção de práticas como a queimada controlada em áreas com grande acúmulo de biomassa e a realização de aceiros – que impedem a propagação de grandes incêndios por servirem como barreira do fogo (MMA, 2021). As estratégias de manejo do fogo requerem muito estudo acerca do comportamento da vegetação, para isso novos trabalhos estão sendo desenvolvidos por diferentes grupos de pesquisa que consideram inclusive as especificidades das fitofisionomias do bioma.

2.3 Fitofisionomias do Cerrado

A palavra Cerrado é de origem espanhola cujo significado é fechado, revelando uma característica marcante de muitas fitofisionomias do bioma, principalmente as vegetações arbustivo-herbáceas muito densas (RIBEIRO; WALTER, 1998). Muitos trabalhos buscam classificar a vegetação do Cerrado brasileiro, como (AZEVEDO, 1962) e (RIZZINI; HERINGER, 1962) que destacam e priorizam as formações savânicas e campestres em suas classificações de fitofisionomias do bioma, entretanto outros trabalhos procuram destacar outros componentes da paisagem como RIBEIRO et al., 1983, RATTER et al., 1973 e EITEN, 1983 que consideram também as formações florestais encontradas no bioma.

Para definir as classes a serem identificadas no mapeamento de uso e cobertura da terra é preciso primeiramente identificar as diferentes fitofisionomias encontradas no Cerrado. Serão destacadas a seguir as 11 principais fitofisionomias, divididas em três grupos por Ribeiro e Walter (1998):

Formações florestais, compostas pelas fitofisionomias: *Mata Ciliar*: vegetação florestal que acompanha os rios de médio e grande porte da região do Cerrado, onde a vegetação não forma galerias e a largura é inferior a 100m; *Mata de Galeria*: vegetação florestal que acompanha os rios de médio e grande porte, formando corredores fechados (galerias) sobre o curso de água; *Mata Seca*: formações florestais caracterizadas a partir de árvores caducifólias durante a estação seca e dependem de condições químicas, físicas e principalmente da profundidade do solo; *Cerradão*: se caracteriza por ser uma mata mais rala e fraca, conta com espécies que ocorrem no Cerrado sentido restrito e por espécies de mata.

Formações savânicas compostas por *Cerrado sentido restrito*: formação florestal caracterizada pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas onde há evidências de queimadas; *Parque de Cerrado*: formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, são conhecidas como "murundus" ou "monchões; *Palmeiral*: presença de uma única espécie de

palmeira arbórea; *Vereda* presença de palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* em agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas.

Formações campestres, compostas por *Campo Sujo*: arbustos e subarbustos dispersos e podem ser constituídas por indivíduos menores do que os das espécies do Cerrado sentido restrito; *Campo Rupestre*: predominância de vegetação herbáceo-arbustiva, pode contar com a presença de arvoretas pouco desenvolvidas de até dois metros de altura e *Campo Limpo*: predominância de vegetação herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores.

A distinção entre as 11 classes descritas por Ribeiro e Walter é muito difícil considerando os insumos disponíveis no âmbito de sensoriamento remoto. Nesse sentido, muitos trabalhos buscam distinguir principalmente os três grandes grupos (formações campestres, savânicas e florestais) isso porque a resposta espectral de algumas fitofisionomias é semelhante, principalmente quando consideramos que o menor elemento de resolução de uma imagem, o pixel, é proveniente de mistura espectral (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012; SHIMABUKURO; SMITH, 1991) essa distinção se torna ainda mais difícil quando consideramos resoluções espaciais menores.

Diferentes legendas de classificação são encontradas na literatura. Ferreira e colaboradores (2007) classificam as áreas de vegetação do Cerrado em: áreas alagadas, pastagem de cerrado, cerrado arbustivo, floresta de Cerrado, mata de galeria e reflorestamento. Outros trabalhos, como o de mapeamento da cobertura vegetal do bioma Cerrado (SANO et al., 2007) considera as classes de savana arborizada, savana parque, savana gramíneo-lenhosa e pastagem cultivada como legendas de vegetação.

Outras classificações consideram a ocorrência de arbustos em meio as classes (COSTA et al., 2014) com a legenda de classificação subdividida em: pastagem aberta, pastagem com arbustos, gramíneas e arbustos, savana arbustiva, arbustos e algumas árvores, árvores de savana arborizada e alguns arbustos, e floresta de galeria. Já trabalhos mais recentes (GIROLAMO NETO et al., 2017; Scaramuzza et al., 2017; Silva et al., 2020) discutem sobre as dificuldades

encontradas no processo de classificação automática da cobertura vegetal do Cerrado.

2.4 Índices espectrais na identificação de áreas queimadas

Trabalhos recentes de identificação de áreas queimadas revelaram que índices de vegetação e de conteúdo de água na vegetação, tais como *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974) e *Normalized Burn Ratio 2* (NBR2), proposto por Key e Benson (1999), são bons índices a serem utilizados para a classificação (PEREIRA et al. 2021; MELO et al. 2021; LIU et al. 2021). Os índices NDVI e NBR2 são utilizados em séries históricas de imagens Landsat no mapeamento das áreas queimadas (ARRUDA et al. 2021; MPAKAIRI et al. 2020).

O uso de índices de vegetação é amplamente aplicado em estudos que visam a extração e a modelagem de características fisiológicas e estruturais da vegetação, que consideram a reflectância em diferentes faixas espectrais (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Em ocorrências de queimada a vegetação de Cerrado muitas vezes é fortemente degradada pelo fogo, o que faz com que alterações ocorram nos índices de vegetação no conteúdo de água (PEREIRA et al., 2021).

2.4.1 NDVI

O NDVI é um índice de vegetação muito utilizado na literatura pois permite a caracterização do comportamento e do vigor vegetativo da vegetação (ROUSE et al., 1974) evidenciando, deste modo, vegetações com diferentes biomassas e densidades. O NDVI é dado pela diferença normalizada entre as reflectâncias das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético, como pode ser visto na Equação 2.1

$$NDVI = \frac{IVP - \text{vermelho}}{IVP + \text{vermelho}} \quad (2.1)$$

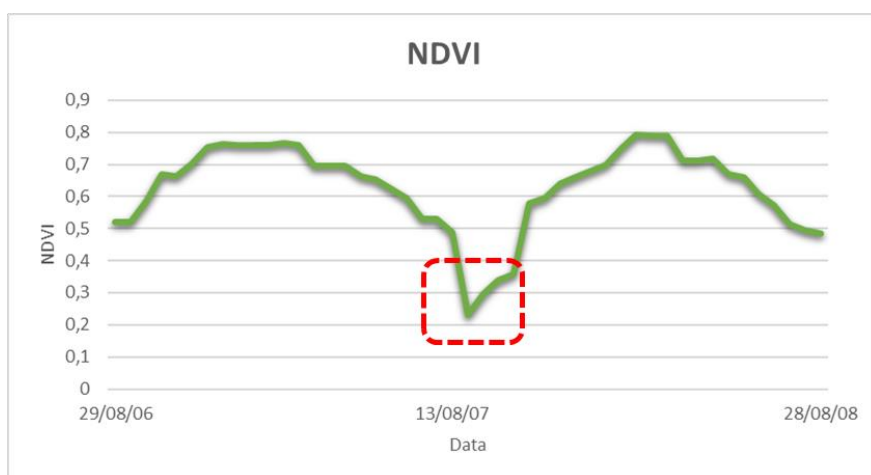
IVP : Corresponde ao infravermelho próximo;

Vermelho: Corresponde a região visível do vermelho do espectro eletromagnético.

Os valores de NDVI variam de -1 a 1, onde valores mais próximos de 1 indicam vegetação com maior vigor vegetativo e maior volume de biomassa e valores próximos de zero indicam pouco ou nenhum vigor vegetativo. É importante destacar que o Cerrado, em virtude das estações secas e chuvosas, conta com uma sazonalidade natural da vegetação e uma perda de vigor no período seco (RATTER et al., 2006).

Após a ocorrência de queimada a vegetação consumida, parcial ou integralmente pelo fogo, conta com diminuição nos valores de NDVI conforme exemplo apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Exemplo de curva de NDVI de uma área onde ocorreu queimada.



Fonte: Produção da autora.

A diferença nos valores de NDVI após a ocorrência de queimada são responsáveis pela eficácia do uso do índice, sendo utilizado no desenvolvimento de estudos de identificação de cicatrizes de áreas queimadas (ARRUDA et al., 2021; PEREIRA et al., 2021; MELO et al., 2021).

2.4.2 NBR2

Proposto por Key e Benson (1999) o índice NBR2 considera as bandas do infravermelho médio, região do espectro eletromagnético, que é muito sensível ao conteúdo de água da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2012). Nas ocorrências de queimas os índices calculados a partir do NBR2 variam, pois o conteúdo de água da vegetação é consumido pelo fogo. Deste modo torna-se

possível distinguir áreas queimadas de áreas não queimadas nas imagens, geradas a partir da Equação 2.2.

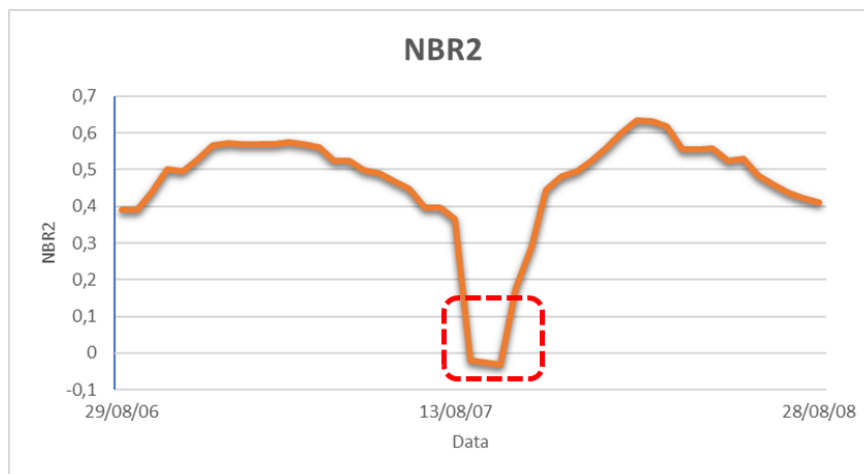
$$NBR2 = \frac{IVM_{OL} - IVM_{OC}}{IVM_{OL} + IVM_{OC}} \quad (2.2)$$

IVM_{OL} : Corresponde ao infravermelho médio de ondas longas;

IVM_{OC} : Corresponde ao infravermelho médio de ondas curtas.

O índice varia de -1 a 1 onde os valores mais baixos, após ocorrência de quebra no gráfico, podem estar associados a ocorrência de queimada. A Figura 2.3 ilustra uma ocorrência de queimada.

Figura 2.3 – Exemplo de curva de NBR2 de uma área onde ocorreu queimada.



Fonte: Produção da autora.

O NBR2 é um índice altamente sensível ao conteúdo de água da vegetação e após a passagem de fogo na vegetação seus valores caem bruscamente, o que permite seu uso em classificadores automáticos para identificação de áreas queimadas (MELO et al., 2021; LIU et al., 2021).

2.5 Random Forest

O Random Forest (RF) se caracteriza como um algoritmo de aprendizagem de máquina e se baseia em aquisição de amostras para treinamento e classificação (BREIMAN, 2001). O RF é capaz de modelar as relações existentes entre diferentes conjuntos de variáveis onde é ainda possível identificar a importância de cada variável sobre a classificação (BUSTILLO SÁNCHEZ al., 2021). Na

identificação de áreas queimadas, o RF vem sendo utilizado em trabalhos atuais por contar com boa acurácia de classificação (MPAKAIRI et al., 2020; PACHECO et al. 2021; BUSTILLO SÁNCHEZ al., 2021).

Para as árvores de decisão são necessários dois parâmetros, o número de árvores a serem utilizadas, onde estudos recentes sugerem o uso de 500 árvores (BUSTILLO SÁNCHEZ al., 2021) e o número de variáveis, que varia conforme o número de classes de interesse e amostras (BELGIU; DRAGUT, 2016).

A partir do nó raiz ocorre então o crescimento da árvore, que considera a variável com maior contribuição para discriminar as classes a partir das amostras. Deste modo, a classificação final ocorre sob um sistema onde o comportamento das variáveis levam a determinar a qual classe pertence. Já o erro associado a classificação irá depender da correlação entre as árvores e a taxa de acerto dessas árvores (BREIMAN, 2001).

A combinação de muitas árvores de decisão tende a uma melhora na acurácia da classificação. Isso ocorre porque o erro tende a ser suavizado a partir da combinação de múltiplas classificações (PACHECO et al. 2021).

2.6 Dados de sensoriamento remoto

Os dados utilizados no desenvolvimento do trabalho são advindos de diferentes fontes e contam com distintas resoluções, nesta seção serão descritos os sensores as bandas e os produtos utilizados nos diferentes processamentos e análises.

2.6.1 Sensor MODIS

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), foi lançado em 1999 para aquisição de dados que auxiliassem na melhor compreensão dos processos que ocorrem na terra, no oceano e na baixa atmosfera, para isso o sensor possui 36 diferentes bandas espectrais buscando adquirir várias informações para o desenvolvimento de estudos em diferentes áreas (NASA, 2022a).

O sensor MODIS está acoplado em dois diferentes satélites, Terra e Aqua, o primeiro satélite passa sobre o Equador pela manhã (Terra) enquanto o segundo

(Aqua) passa pelo Equador a tarde. Essa combinação de sensores nas duas plataformas faz com que a resolução temporal das imagens seja de 1 a 2 dias, permitindo uma aquisição contínua de dados (NASA, 2022a).

Além das imagens ópticas, os dados adquiridos pelo sensor MODIS permitem a geração de diversos produtos pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (*National Aeronautics and Space Administration* - NASA). Alguns produtos amplamente utilizados são: focos de queimada (MOD14v006) que identifica focos de calor; área queimada (MCD64A1v006) que é um produto mensal com resolução espacial de 500m que identifica as cicatrizes de queima; índice de vegetação (MOD13Q1v006) que a partir de uma composição de imagens de 8 ou 16 dias retorna o índice de vegetação NDVI com 250 m de resolução espacial, além de outros produtos com aplicações tanto no monitoramento terrestre, quanto no oceano e na atmosfera (NASA, 2022a).

2.6.1.1 Produto MCD64A1 – área queimada

O produto mensal MCD64A1 é produzido a partir da combinação dos dados dos sensores MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua, destacados anteriormente. Sua resolução é de 500m e os arquivos contém informações de área queimada e não queimada para cada pixel. O algoritmo usa um índice de vegetação sensível a queima, utilizando as bandas 5 e 7 – corrigidas atmosféricamente – e faz uma análise das bandas ao longo do tempo. Além de identificar áreas de queimada o produto MCD64A1 também apresenta a possível data da queima, já que a resolução temporal combinada dos sensores é diária (USGS, 2022a).

2.6.1.2 Focos de queimada

Os dados de focos de queimada (MOD14v006), adquiridos pelo sensor MODIS, são utilizados em diferentes estudos de monitoramento para identificação de áreas queimadas (USGS, 2022b). Os dados estão disponíveis na plataforma de Informações de incêndio para sistema de gerenciamento de recursos, do *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), da NASA e disponíveis no site BD queimadas do INPE.

De maneira geral os dados de focos de queimada identificam incêndios na superfície terrestre e anomalias térmicas – como vulcões (USGS, 2022b). O produto gerado é um ponto, ou seja, um pixel que indica a ocorrência de uma possível queima. Estudos de campo indicam que uma frente de fogo de cerca de 30m de extensão e com 1m de largura seja capaz de sensibilizar o sensor e gerar a indicação de foco, isso faz com que toda a célula (ou pixel) seja identificada como possível área de queima, mesmo que ela não esteja sendo integralmente consumida pelo fogo (INPE, 2022b). É importante destacar que a sensibilização varia de acordo com cada sensor no espaço e com os limiares adotados na concepção.

2.6.2 Satélites Landsat

O programa Landsat surgiu a partir de uma parceria entre a NASA e o serviço geológico dos Estados Unidos (USGS). O primeiro satélite foi lançado em 1972 e foi o responsável pela aquisição das primeiras imagens de monitoramento dos recursos terrestres (NASA, 2022b).

De acordo com o serviço geológico americano as imagens do Landsat podem ser utilizadas para monitorar as mudanças de uso e cobertura da terra, que ocorrem principalmente pela ocorrência de mudanças climáticas, mudanças associadas ao processo de urbanização das cidades e incêndios florestais, foco do presente estudo. Após o lançamento do Landsat – 1 a missão continuou com o lançamento de outros satélites, conforme a Tabela 2.3, adaptado (INPE, 2022c):

Tabela 2.3 – Satélites Landsat lançados até o ano de 2022.

Landsat	Sensor	Lançamento	Situação	Resolução temporal
1	RBV e MSS	23/07/1972	Inativo (06/01/1978)	18 dias
2	RBV e MSS	22/01/1975	Inativo (25/02/1982)	18 dias
3	RBV e MSS	05/03/1978	Inativo (31/03/1983)	18 dias
4	MSS e TM	16/07/1982	Inativo (1993)	16 dias
5	MSS (até Ago/1995) e TM	01/03/1984	Inativo (22/11/2011)	16 dias
7	ETM+	15/04/1999	Ativo com Restrição	16 dias
8	OLI e TIRS	02/11/2013	Ativo	16 dias
9	OLI-2 e TIRS-2	27/09/2021	Ativo	16 dias

Fonte: Adaptado de INPE (2022).

Com base nos dados da Tabela 2.3 é possível identificar que a partir dos anos 2000 estiveram em operação apenas os satélites Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 e Landsat 9 (USGS, 2022c). As especificações dos três sensores estão disponíveis na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Especificações dos sensores TM, ETM+ e OLI.

Banda	Intervalo espectral (μm) Landsat 4-5 (TM)	Intervalo espectral (μm) Landsat 7 (ETM+)	Intervalo espectral (μm) Landsat 8-9 (OLI)	Resolução espacial (m)
1	0.45-0.52	0.45 - 0.52	0.43-0.45	30
2	0.52-0.60	0.52 - 0.60	0.45-0.51	30
3	0.63-0.69	0.63 - 0.69	0.53-0.59	30
4	0.76-0.90	0.77 - 0.90	0.64-0.67	30
5	1.55-1.75	1.55 - 1.75	0.85-0.88	30
6	10.40-12.50	10.40 - 12.50	1.57-1.65	30
7	2.08-2.35	2.08 - 2.35	2.11-2.29	30
8	-	0.52 - 0.90	0.50-0.68	15
9	-		1.36-1.38	30

Fonte: Adaptado de USGS (2022).

2.6.3 Mapbiomas

O projeto Mapbiomas teve início em 2015 a partir de uma iniciativa de especialistas de sensoriamento remoto que buscavam produzir mapas anuais de uso e cobertura da terra de forma simplificada e de baixo custo a partir do uso da plataforma Google Earth Engine (MAPBIOMAS, 2022a). A iniciativa se caracteriza por ser uma rede colaborativa que busca identificar as transformações de uso e cobertura da terra do território brasileiro através de mapeamentos anuais desde 1985. Recentemente o projeto inseriu em seu catálogo de produtos o monitoramento de superfícies de água e cicatrizes de fogo (MAPBIOMAS, 2022a).

Até o presente momento o Mapbiomas conta com 6 coleções de produtos, sendo o mais recente publicado em abril de 2021. A melhoria contínua nos mapeamentos é uma das características do Mapbiomas, que além de fornecer os mapeamentos disponibiliza também notas metodológicas, scripts no GitHub, plugins para os usuários e ferramentas que facilitam o acesso e aquisição dos dados na plataforma *Google Earth Engine* (MAPBIOMAS, 2022a).

2.6.3.1 Uso e cobertura da terra

No mapeamento de uso e cobertura da terra as equipes são organizadas para cada bioma (Amazônia, Cerrado, Pantanal, Caatinga, Mata Atlântica e Pampa) e por tema transversal (pastagem, agricultura, zona costeira e área urbana). Essas equipes contam com especialistas de programação, sensoriamento remoto e especialistas em temáticas de conservação e uso da terra (MAPBIOMAS, 2022c).

Para a geração dos mapas anuais de uso e cobertura da terra é produzido um mosaico com imagens Landsat para o período de análise, depois é realizada a classificação (pixel a pixel) de acordo com as classes de interesse, na sequência são aplicados filtros espaciais e temporais. Após esse processo é feita então a integração dos dados e aplicado novamente filtros espaciais e temporais. Esses filtros consideram a transição de classes, desmatamentos, ocorrência de vegetações secundárias para que a classificação seja mais assertiva. Após todos esses processamentos é validada a acurácia do produto e são extraídas estatísticas antes de serem disponibilizado aos usuários.

Atualmente o Mapbiomas conta com 6 grandes classes no nível 1 de processamento, são elas Floresta, Formação Natural não Florestal, Agropecuário, Área Não Vegetada, Água e Não Observado. Já no nível 2 de processamentos essas grandes classes contam com a inserção de novas subclasses.

Inseridas dentro de Floresta estão as subclasses: *Formação Florestal*, *Formação Savânica*, *Mangue* e *Restinga Arborizada*. Inseridas dentro de Formação Natural não Florestal estão as subclasses: *Campo Alagado* e *Área Pantanosa*, *Formação Campestre*, *Apicum*, *Afloramento Rochoso*, *Outras Formações não*

Florestais. Da classe Agropecuário estão contidas as classes: *Pastagem*, *Agricultura*, *Silvicultura*, *Mosaico de Agricultura e Pastagem*. De Área Não Vegetada estão contidas: *Praia e Duna*, *Área Urbanizada*; *Mineração*; *Outra Área Não Vegetada*. Da classe Água estão *Rio*, *Lago* e *Oceano* e *Aquicultura*. Já a classe Não Observado é destinada a áreas onde não foi possível atribuir classificação. Existem outros níveis de processamento que irão aprofundar ainda mais as classificações (MAPBIOMAS, 2022c).

Os dados disponibilizados pelo Mapbiomas vêm sendo utilizados em diferentes estudos que visam identificar mudanças no uso e cobertura da terra e buscam realizar comparativos com outras classificações (NEVES, 2020) e associar ocorrências de fogo às mudanças de uso da terra (PHILOGENE, 2021).

2.6.3.2 Mapbiomas Fogo

Assim como o mapeamento de uso e cobertura da terra, o Mapbiomas Fogo também utiliza imagens Landsat com resolução espacial de 30 metros e o mesmo recorte temporal de análise (1985 – 2020) e considera amostras de áreas queimadas e não queimadas para o treinamento do algoritmo por regiões, dado que o padrão de fogo é diferente em cada um dos biomas e regiões brasileiras. Além das amostras o algoritmo também considera o produto MODIS de áreas queimadas (MCD64A1) e os focos de calor disponibilizados pelo INPE como referência para a classificação (MAPBIOMAS, 2022d).

Para a classificação dos dados do Mapbiomas é utilizado o modelo de redes neurais profundas que, através do aprendizado de máquina, reconhecem os diferentes padrões para delimitação das classes de interesse. Deste modo, após o treinamento do algoritmo é possível realizar a predição das áreas queimadas a partir dos padrões de treinamento (MAPBIOMAS, 2022d).

Para a classificação são utilizadas as bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas além dos índices de NDVI, NBR e Delta NBR – selecionados por serem sensíveis aos eventos de fogo. Para a classificação são destinadas 70% das amostras para a treinamento e 30% para validação (MAPBIOMAS, 2022d).

É importante destacar que como etapa de pós processamento o Mapbiomas aplica um filtro que remove ruídos e preenche lacunas, deste modo áreas menores ou iguais a 1,4 ha são removidas e lacunas vazias menores ou iguais a 5,7 ha são preenchidas como área queimada (MAPBIOMAS, 2022d).

Na etapa de validação do produto, pelos especialistas do projeto Mapbiomas, foram selecionados os anos de 2007, 2011 e 2019 e comparados com dados de área queimada do FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*) e comparados com a segmentação dos mínimos de NBR (MAPBIOMAS, 2022d).

Estudos recentes utilizam os dados de área queimada disponibilizados pelo projeto Mapbiomas Fogo na discussão das queimadas e seus impactos na emissão de CO₂ (SILVA et al., 2021), onde a identificação das áreas queimadas foi de fundamental importância para o desenvolvimento do trabalho.

3 ÁREA DE ESTUDO

Para o presente estudo foram selecionadas duas unidades de conservação de proteção integral localizadas no bioma Cerrado. O clima predominante nas unidades de conservação do bioma é o tropical-quente-subúmido que conta com duas estações bem definidas, uma estação seca, que ocorre entre os meses de maio a setembro e outra chuvosa que ocorre entre os meses de outubro a abril. A precipitação média anual é de 1500 ± 500 mm, contudo no período da estação seca a média de precipitação é de cerca de 50 mm. A temperatura média anual varia de 21,3 a 27,2°C (EMBRAPA, 2012).

As duas unidades selecionadas foram criadas na década de 1960 e estão sob preservação a quase 60 anos, favorecendo o reaparecimento de diversas fitofisionomias do bioma Cerrado. A primeira unidade selecionada é o Parque Nacional de Brasília (PNB), situado no Distrito Federal e a segunda o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV), situado no estado de Goiás.

3.1 Parque Nacional de Brasília

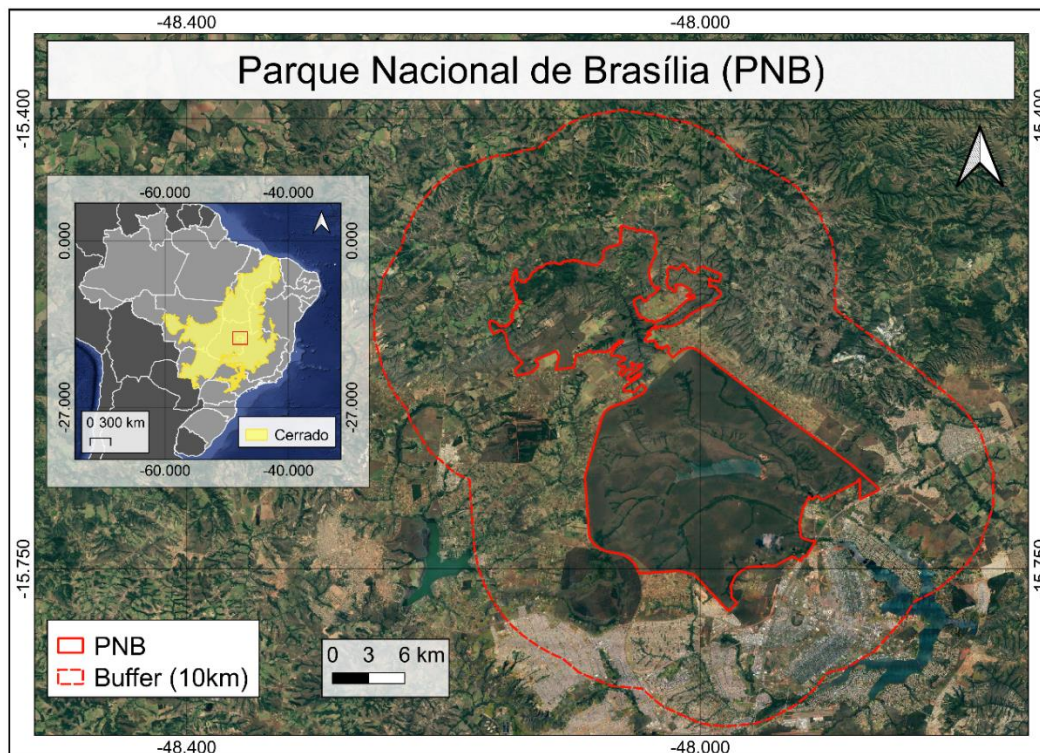
O PNB foi criado em 29 de novembro de 1961 e atualmente ocupa uma área de cerca de 41,8 mil hectares (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2006). Localiza-se nos municípios de Sobradinho e Brasilândia no Distrito Federal e no município de Padre Bernardo no estado de Goiás (ICMBio, 2016).

Em 2004 teve início a discussão da ampliação dos limites do parque, essa ampliação ocorreu efetivamente apenas no ano de 2006 através da aprovação do projeto da Lei 4168/04 pela Câmara dos Deputados, que instituiu que os limites do parque, com cerca de 30 mil hectares, passassem a ocupar uma área de cerca de 41,8 mil hectares (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2006). A área incrementada abrangeu várias áreas de propriedades privadas. Segundo dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) as propriedades rurais no interior do parque somam atualmente 1.230,87 hectares, o que vêm trazendo grandes discussões acerca das atividades praticadas nessas áreas.

Em 2020 a discussão acerca dos limites do parque voltou ao debate, o Projeto de Lei 4379/20 têm como objetivo adicionar a Reserva Biológica da Contagem

(DF) ao parque nacional (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2021). A alteração dos limites já foi aprovada no Senado e tramita na Câmara dos deputados para aprovação (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2022). A localização do PNB, considerando os limites aprovados em 2006, pode ser vista na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Localização da área de estudo do PNB.



Fonte: Produção da autora.

Considerando a problemática de fogo existente na região, o Parque Nacional de Brasília estabelece um plano de ações conjuntas entre o PREVFOGO e o Corpo de Bombeiros Militar do DF (CBM/DF), que visa o maior controle dos incêndios florestais. Além disso, busca formar brigadas de incêndio com a participação de membros do CBM/DF que realizam rondas regulares para a prevenção da ocorrência e propagação de incêndios florestais – principalmente durante o período seco na região (ICMBIO, 2016).

Em relação a vegetação do parque, as principais fitofisionomias encontradas, conforme classificação do ICMBio, são as matas de galeria, veredas, cerrado stricto sensu, campo sujo, campo limpo, campo rupestre, campos úmidos e campos de murundus (ICMBIO, 2016). O levantamento acerca das fitofisionomias encontradas na unidade de conservação está descrito no primeiro

plano de manejo do parque, elaborado em 1997 e atualizado em 2016 (ICMBIO, 2016).

De acordo com o mapeamento de uso e cobertura da terra do Mapbiomas (2020) as classes encontradas no parque são: Formação Florestal, Formação Savânica, Silvicultura, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Área Urbanizada, Outras Áreas não vegetadas, Mineração, Rio, Lago e Oceano, Soja, Outras Lavouras Temporárias e Café.

Em relação ao uso e cobertura da terra, nos anos 2000-2005-2010-2015-2020, as classes para cada um dos anos para o PNB e a zona de amortecimento de 10km podem ser vistas na Tabela 3.1 a seguir.

Tabela 3.1. Classes de uso e cobertura da terra (em ha) para o PNB e zona de amortecimento.

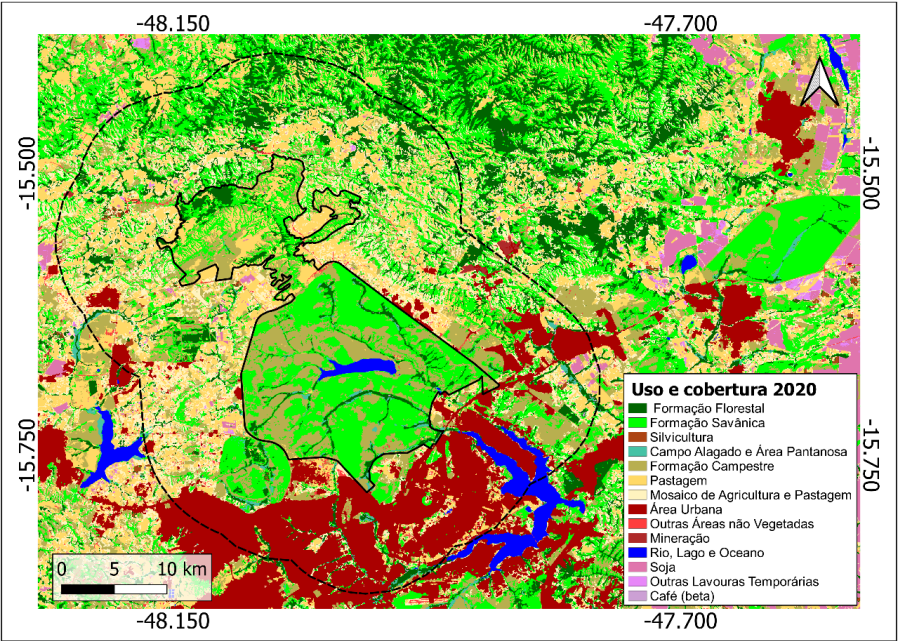
Classe	2000	2005	2010	2015	2020
Formação Florestal	17567,49	17618,41	17393,13	18240,78	17935,77
Formação Savânica	46814,43	46390,24	46807,91	45574,42	43729,57
Silvicultura	2,49	0,77	1,98	174,35	252,76
Campo Alagado e Área Pantanosa	1691,83	1621,20	1588,39	1576,68	1575,48
Formação Campestre	29893,55	29713,40	30546,61	31141,59	29417,66
Pastagem	34713,42	34099,45	32900,68	32092,86	31326,84
Mosaico de Agricultura e Pastagem	21469,33	21492,73	21297,25	21182,24	24671,34
Área Urbanizada	24460,26	25811,59	26716,97	27424,74	27880,60
Outras Áreas não vegetadas	1670,12	1283,10	1306,25	1098,01	1485,57
Mineração	99,20	94,46	125,23	120,75	209,99
Rio, Lago e Oceano	2333,81	2329,76	2317,53	2309,35	2296,86
Soja	271,44	614,66	182,41	435,16	735,40
Outras Lavouras Temporárias	639,31	625,85	549,89	378,97	206,66
Café	162,59	93,65	55,05	39,37	64,78

Fonte: Adaptado de Mapbiomas (2022).

Em relação ao relevo, a área conta com altitudes que variam entre 500 e 1480 metros e conta com poucas variações abruptas de terreno sendo ele constituído de patamares bem estabelecidos. O relevo esculpido pelos corpos d'água no interior do parque conta com predominância de vegetação florestal, principalmente de matas de galeria, que podem ser vistas no comparativo das Figuras 3.2, classes do Mapbiomas, e 3.3 do Modelo Digital de Terreno (MDT),

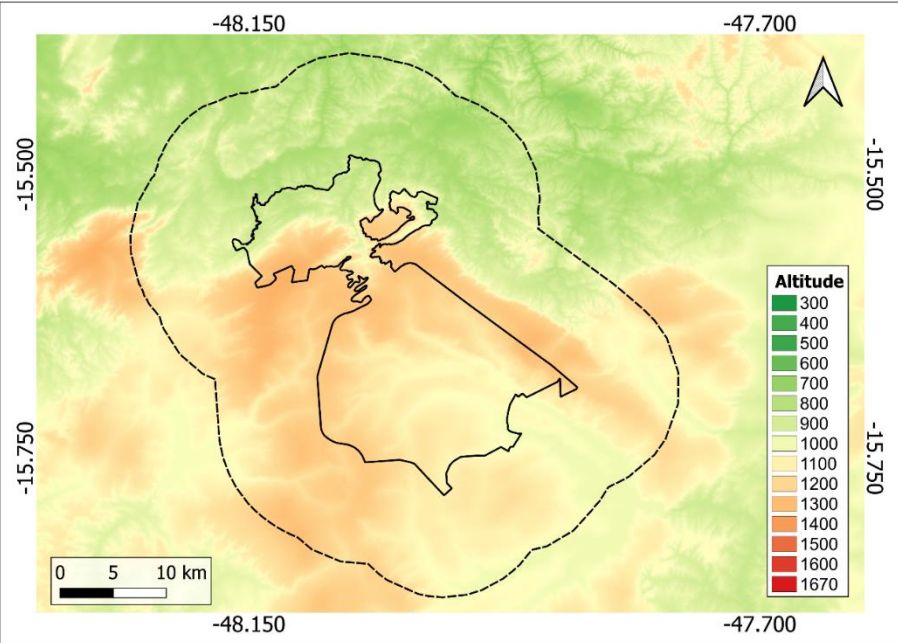
advindo dos da Missão Topográfica de Radar Embarcado, *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Figura 3.2 – Uso e cobertura da terra do PNB de acordo com as classes do projeto Mapbiomas.



Fonte: Adaptado de Mapbiomas (2022).

Figura 3.3 – Relevo do PNB de acordo com dados do SRTM.



Fonte: Adaptado de SRTM (2022).

3.2 Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) foi criado em 11 de janeiro de 1961. Atualmente ocupa uma área de 240.611 hectares e localiza-se nos municípios de Alto Paraíso de Goiás, Cavalcante, Nova Roma, São João D'Aliança e Teresina de Goiás no estado de Goiás.

O parque, no ano de sua criação, foi nomeado como Parque Nacional do Tocantins e contava com uma área de cerca de 625 mil hectares. Contudo, em 11 de maio de 1972 houve uma alteração nos limites do parque, que foi reduzido em cerca de 275% e passou a contar somente com 171.924 hectares (ICMBIO, 2022b). A diminuição no limite do parque foi justificada pela problemática econômica, dado que a adoção das práticas de manejo sem a devida aquisição das propriedades dificultou a vida dos proprietários rurais dos municípios da região (ICMBIO, 2022b).

Anos depois, em 1981, o limite do parque foi novamente reduzido para 65 mil hectares. A justificativa estava pautada no projeto “Agropecuários Alto Paraíso” e na passagem da rodovia GO-239 entre o Morro da Baleia e o Morro do Buracão (ICMBIO, 2022b; RIBEIRO, 2017).

Já no ano de 2001 o parque contou com uma ampliação dos seus limites para 235 mil hectares, além disso, no mesmo ano, foi reconhecido como um Sítio do Patrimônio Natural da Humanidade pela *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), contudo, dois anos depois, em 2003, o decreto de ampliação foi suspenso devido a falhas no processo e consulta pública e seus limites voltaram a 65 mil hectares, como estabelecido pelo decreto de 1981 (ICMBIO, 2022b). Em 5 de junho de 2017 um decreto oficial ampliou os limites do parque para a área atual de cerca de 240.611 hectares (PLANALTO, 2017).

A ampliação do parque abrangeu várias áreas privadas. Segundo dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) as propriedades rurais no interior do parque somam 71.976,095 hectares, trazendo grandes discussões acerca das atividades praticadas nessas áreas – se estão aderentes ou não a finalidade de proteção da unidade.

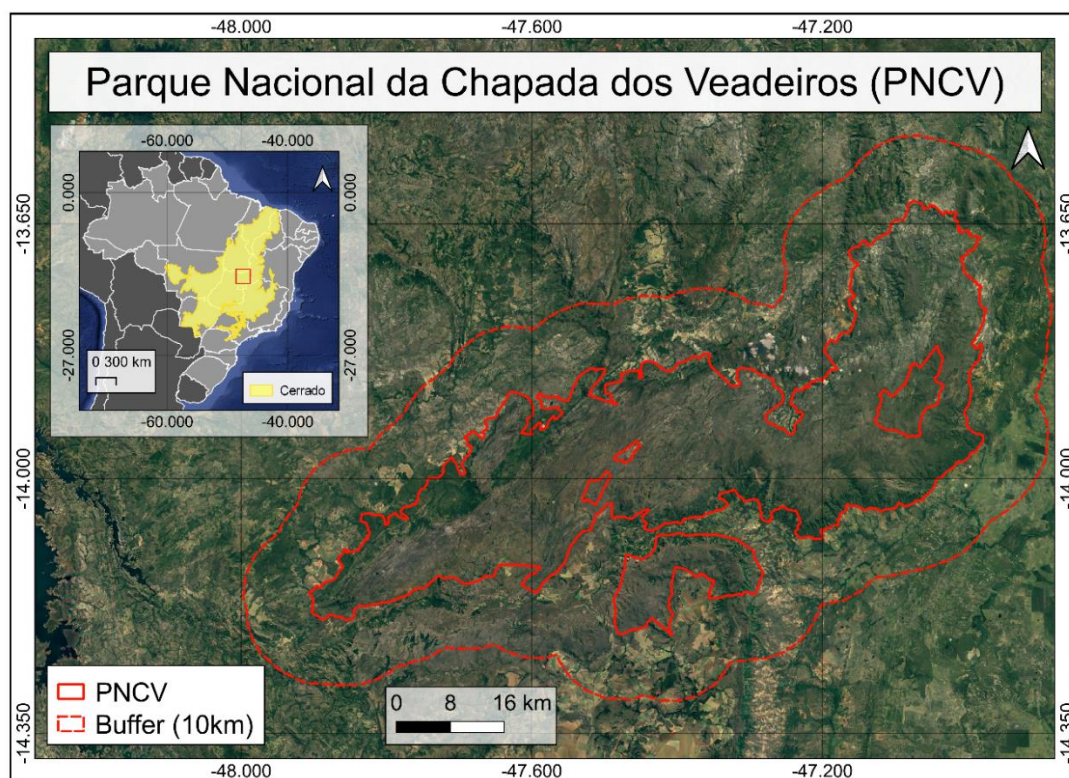
O Plano de manejo do parque fornece uma descrição detalhada acerca das problemáticas existentes na região. As atividades agropastoris praticadas na zona de amortecimento do parque (e em algumas propriedades no interior do parque) são conflitantes com a finalidade de uso da unidade de conservação, isso porque os agricultores, com intuito de renovar a pastagem, utilizam-se do fogo para acelerar o processo de rebrota da vegetação, mas é comum o fogo ultrapassar os limites da propriedade e consumir as áreas protegidas (ICMBIO, 2009). Com as altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, principalmente durante o período seco e início do período chuvoso, esses focos se propagam e consomem a cobertura vegetal existente dentro e fora da área do parque (ICMBIO, 2009).

Ainda segundo o plano de manejo, não há uma rotina sistemática de fiscalização na prevenção de incêndios florestais, isso ocorre devido a carência de recursos humanos e de infraestrutura. As rondas são realizadas conforme os relatórios ou registros de infrações notificados pelo chefe da unidade. Outro fator que também dificulta a fiscalização é a extensão da unidade (em relação ao número de brigadistas) além do relevo acidentado. Esporadicamente há denúncias por parte das comunidades quanto às infrações cometidas no interior e entornos da unidade de conservação (ICMBIO, 2009).

Buscando mitigar essas ocorrências, o IBAMA desenvolveu um Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais no ano de 2007, em que são descritos parâmetros norteadores para um melhor manejo da unidade, considerando a problemática de prevenção do fogo (ICMBIO, 2009).

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros é a maior reserva de Cerrado do mundo (ICMBIO, 2009), com mais de 240 mil hectares de área preservada e, por isso, considerado um Patrimônio Mundial de proteção. A localização do PNCV pode ser vista na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Localização da área de estudo do PNCV.



Fonte: Produção da autora.

Segundo o plano de manejo do parque, as principais fitofisionomias encontradas no parque são os campos rupestres, os campos limpos, os campos sujos, os cerrados rupestres, o cerrado stricto sensu, as veredas, os cerradões, as matas de galerias e as matas secas. De acordo com o Mapbiomas (2020) as classes encontradas no parque são: Formação Florestal, Formação Savânica, Silvicultura, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Área Urbanizada, Outras Áreas não vegetadas, Rio, Lago e Oceano, Soja e Outras Lavouras Temporárias.

Em relação ao uso e cobertura da terra, nos anos 2000-2005-2010-2015-2020, as classes para cada um dos anos para o PNCV e a zona de amortecimento podem ser vistas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Classes de uso e cobertura da terra (em ha) para o PNCV e zona de amortecimento.

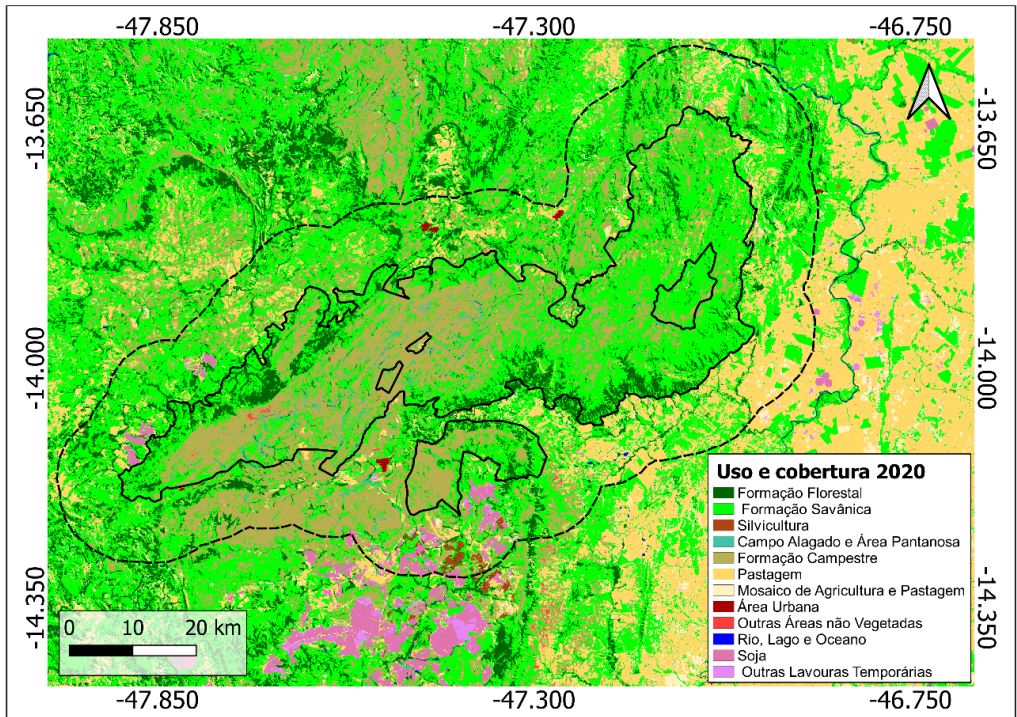
Classe	2000	2005	2010	2015	2020
Formação Florestal	57316,009	61804,776	61087,277	60725,376	62734,628
Formação Savânica	316471,022	305112,725	302813,034	300683,854	296772,588
Silvicultura	138,74	134,662	793,925	1401,852	1489,773
Campo Alagado e Área					
Pantanososa	6957,842	6820,205	6833,311	6839,473	6834,169
Formação Campestre	155226,64	155422,441	155482,138	150936,555	153182,693
Pastagem	61649,143	65474,956	68335,708	74352,554	63982,558
Mosaico de Agricultura e					
Pastagem	9192,272	10568,963	9487,458	7815,582	14165,279
Área Urbanizada	648,484	693,456	723,329	741,209	749,369
Outras Áreas não					
vegetadas	526,434	1107,21	1004,851	791,24	901,769
Rio, Lago e Oceano	261,953	275,041	231,432	215,518	180,316
Soja	11,106	768,447	300,062	2040,091	6623,574
Outras Lavouras					
Temporárias	38,953	255,717	1346,073	1895,295	821,884

Fonte: Adaptado de Mapbiomas (2022).

A recente ampliação do PNCV (2017) foi pautada na importância da vegetação da região, que conta com diversas espécies endêmicas de fauna e flora, o que justifica o reconhecimento da área como um Sítio do Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO. Essa ampliação prevê o retorno da vegetação de Cerrado em áreas que sofreram mudanças de uso (principalmente agropecuárias).

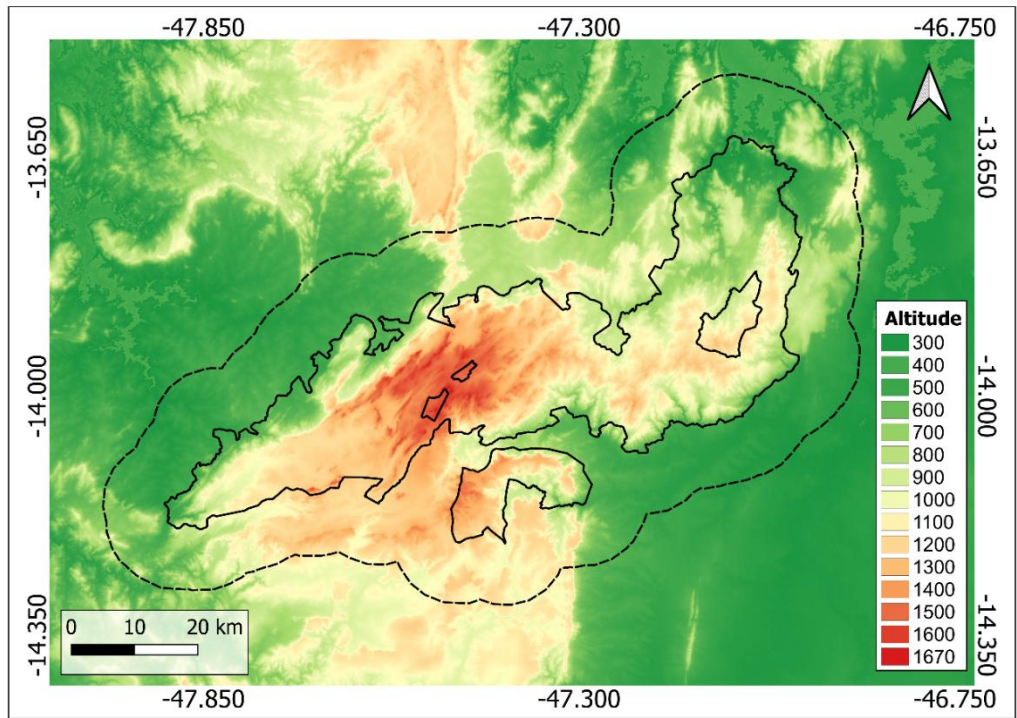
Em relação ao relevo do parque, a área conta com altitudes que variam entre 300 e 1670 metros, e conta com relevo bem acidentado, cheio de declives e elevações. As classes podem ser observadas no comparativo das Figuras 3.5 e 3.6.

Figura 3.5 – Uso e cobertura da terra do PNCV de acordo com as classes do projeto Mapbiomas.



Fonte: Adaptado de Mapbiomas (2022).

Figura 3.6 – Relevo do PNCV de acordo com dados do SRTM.



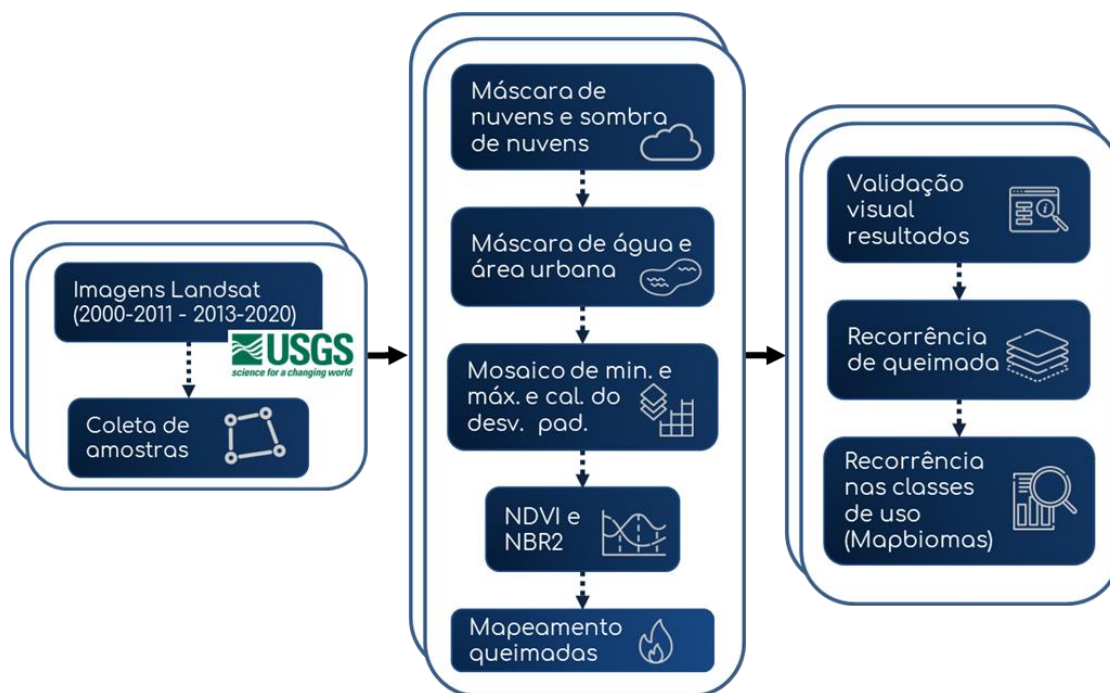
Fonte: Adaptado de SRTM (2022).

As áreas de afloramento rochoso estão situadas em regiões de declive, principalmente na porção central do parque (Figura 3.6), essas áreas contam com a classe não vegetada ou de vegetação campestre, conforme comparativo com a Figura 3.5. Já a área de amortecimento, com presença de grandes planícies, conta com presença marcante de formação savânica intercalada com formações florestais e pastagem – principalmente na porção sudeste.

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos para a classificação de áreas queimadas no Parque Nacional de Brasília (PNB) e Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) são apresentados na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Atividades desenvolvidas.



Fonte: Produção da autora.

A etapa de classificação de áreas queimadas contou com atividades realizadas em dois ambientes, a aquisição de imagens e coleta de amostras foi realizada em ambiente SIG com uso do *software* Qgis. A segunda etapa, de elaboração do mosaico anual das imagens e cálculo dos índices utilizados, foi realizada em ambiente do *Google Earth Engine*. Além disso, as classificações realizadas foram validadas com acervo de imagens Landsat para cada um dos anos também em ambiente SIG.

Os mapeamentos de áreas queimadas foram comparados com dados do produto MCD64A1 do MODIS, além dos dados disponibilizados pelo projeto Mapbiomas Fogo e os dados de mapeamento de área queimada do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do projeto Queimadas.

4.1 Aquisição de imagens Landsat

Imagens Landsat, nível 2, foram adquiridas para a área dos dois parques para o período (2000-2020). O PNB situa-se na órbita ponto 221-071 e o PNCV está situado em duas órbitas ponto, 221-069 e 221-070.

As imagens, corrigidas atmosféricamente, foram levadas para ambiente SIG onde foram coletadas amostras de treinamento e validação. Para isso foi utilizada a composição de bandas B5, B4, B7 para imagens do sensor TM e bandas B6, B5, B7 para imagens do sensor OLI.

4.2 Amostras de treinamento para classificação de queimada

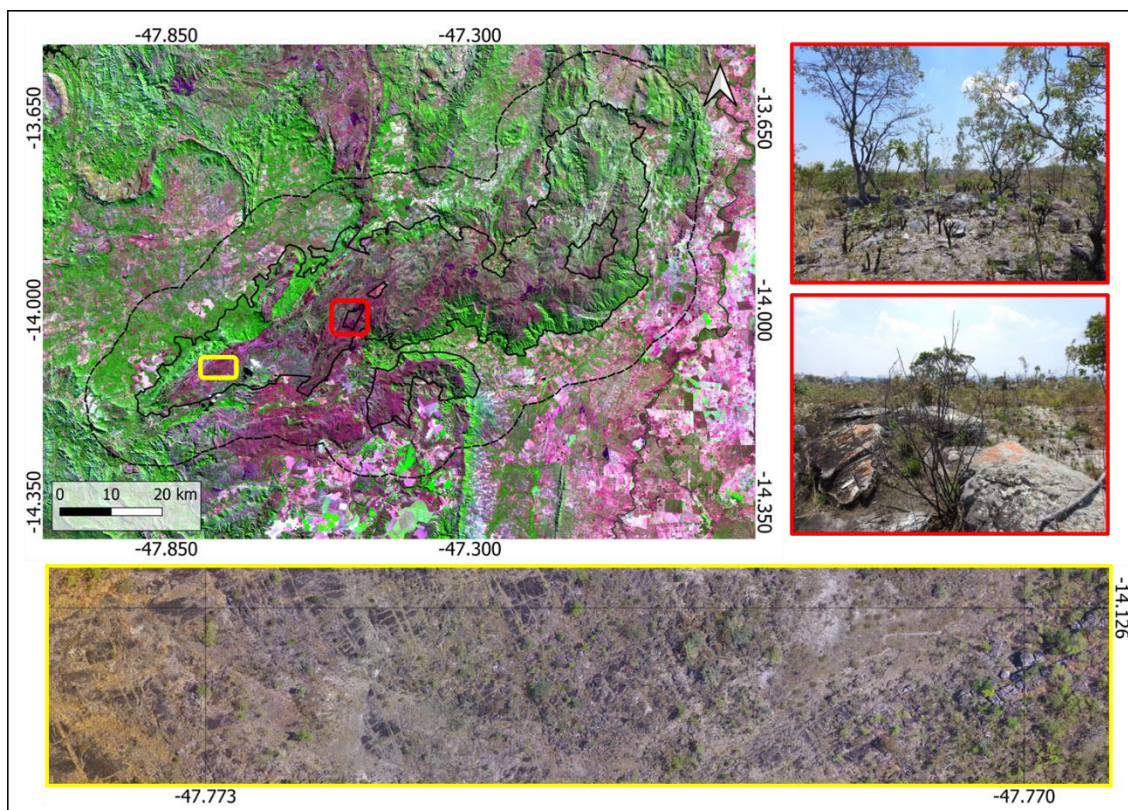
Aquisição de boas amostras é de fundamental importância para bons resultados de classificação. É por meio das amostras que o algoritmo entende os padrões das classes, melhorando o treinamento e validação (LAROSE, 2014). No presente estudo foram coletados conjuntos de amostras para cada uma das classes, sendo a classe de área queimada (AQ) e de área não queimada (NQ) para cada um dos anos analisados (2000-2020).

Foram realizados testes com amostras do tipo ponto, contudo as acurácias foram superiores no uso de amostras de polígonos. Houve uma padronização em relação ao tamanho das amostras, com áreas de 5 a 10 hectares aproximadamente. A maior variação no tamanho dos polígonos ocorre na classe de área queimada, isso porque algumas áreas queimadas contavam com área inferior a 10 hectares.

A aquisição média foi de 100 amostras por classe em cada um dos anos analisados (200 amostras por ano), resultando em cerca de 4.000 amostras coletadas para parques a partir do uso de mais de 480 imagens utilizadas. As escolhas das amostras seguiram um padrão de coleta, considerando áreas com mistura de resposta espectral, que confundem o classificador. Através de estudos preliminares foi possível identificar algumas áreas de potencial confusão do classificador, tanto no PNB quanto no PNCV. Além disso, foram coletadas amostras de queimadas severas e brandas.

Para o PNCV uma área na porção central do parque (Figura 4.2) foi a mais desafiadora considerando as confusões geradas pelo classificador. Isso porque a área conta com uma cobertura que intercala solo exposto, rochas e uma vegetação rala e, por vezes, sua reposta espectral assimilava-se aos padrões de queimada, sendo classificadas erroneamente como áreas queimadas.

Figura 4.2 – Áreas com afloramentos rochosos no PNCV.



Fonte: Produção da autora.

Além disso, buscando atenuar as confusões de classificação foram coletadas amostras de área não queimada em anos posteriores a ocorrência de queimada, após certificação de não ocorrência de queima. Isso porque em algumas classes de uso da terra, principalmente de formação florestal, a cicatriz de queimada permanece no solo por alguns meses. Nesse sentido, essas amostras foram importantes para ajudar o classificador a entender as diferenças entre cicatrizes antigas de queimada e áreas queimadas no ano de referência.

4.3 Mapeamento de áreas queimadas

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas imagens Landsat TM nos períodos de 2000 a 2011 e OLI nos anos de 2013 a 2020. As imagens do Landsat 7 (ETM+) contavam com falhas no imageamento em algumas cenas das áreas de estudo, onde optou-se pelo processamento apenas das imagens TM e OLI. Dessa maneira, o ano de 2012 não foi considerado neste trabalho.

Foi utilizada a composição do mosaico anual das imagens Landsat considerando as bandas 4,5 e 7 do sensor TM e bandas 5, 6 e 7 do sensor OLI. Para o cálculo do NDVI foram consideradas as bandas 3 e 4 do sensor TM e bandas 4 e 5 do OLI e para o cálculo do NBR2 foram utilizadas as bandas 5 e 7 do sensor TM e bandas 6 e 7 do sensor OLI.

As imagens foram processadas em ambiente de programação *Google Earth Engine*. Para a composição dos mosaicos anuais foram aplicados filtros de nuvens e de sombra de nuvem garantindo, deste modo, que os valores retratassem pixels sem interferências. Em estudos exploratórios as áreas urbanas foram responsáveis por confusões no classificador. Assim, optou-se pela aplicação de máscara de áreas urbanas, delimitada a partir dos dados do plano diretor de Brasília.

Após a aplicação dos filtros foram extraídos os valores mínimos e máximos do conjunto de imagens anuais, onde foram considerados os meses de janeiro a dezembro de cada um dos anos analisados. A partir desses valores foi calculado o desvio padrão, deste modo os valores do mosaico preservaram a variação dos dados de ocorrência de queima.

A partir da elaboração do mosaico foram realizados testes para a classificação com uso de diferentes índices espectrais. Com base na bibliografia, foram selecionados os índices NBR2, NDVI e NDWI. O NDVI contou com maior acurácia quando comparado com o NDWI (que considera o teor de umidade). Os resultados dos testes podem ser vistos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Acurácias de classificação a partir do uso de diferentes índices.

Ano	PNB		PNCV	
	NDWI	NDVI	NDWI	NDVI
2000	0,8506	0,8708	0,9352	0,9252
2001	0,8468	0,8557	0,9686	0,9671
2002	0,7657	0,7763	0,8523	0,8544
2003	0,8486	0,8587	0,8865	0,8734
2004	0,9382	0,9422	0,9641	0,9622
2005	0,7881	0,8159	0,9147	0,9233
2006	0,8453	0,8332	0,9405	0,9593
2007	0,9527	0,9572	0,9689	0,9679
2008	0,8492	0,8359	0,9050	0,9117
2009	0,8582	0,8366	0,9315	0,9414
2010	0,9776	0,9752	0,9907	0,9908
2011	0,8839	0,8843	0,9864	0,9887
2012	-	-	-	-
2013	0,8516	0,8456	0,9769	0,9721
2014	0,9025	0,9060	0,9714	0,9786
2015	0,8802	0,8538	0,9806	0,9835
2016	0,8786	0,8915	0,9875	0,9825
2017	0,9107	0,9113	0,9833	0,9892
2018	0,8950	0,8749	0,9359	0,9485
2019	0,9083	0,9109	0,9844	0,9887
2020	0,9156	0,9122	0,9895	0,9915

Fonte: Produção da autora.

Definidos os índices com maior acurácia, NDVI e NBR2, foram mapeadas as áreas queimadas nas duas unidades de conservação. Os resultados obtidos foram confrontados com áreas de queimada identificadas pelo produto MCD64A1, áreas queimadas do produto Mapbiomas Fogo e áreas queimadas do projeto de Queimadas do INPE. Cada um dos anos contou com uma entrada distinta de amostras com o objetivo de trazer melhorias nos resultados de classificação, isso porque as amostras consideravam o padrão de queimada do ano vigente bem como a severidade de queima.

4.4 Recorrência de queimadas e classe de uso e cobertura

Para o trabalho foram consideradas as classes de uso da terra do projeto Mapbiomas:

- Formação florestal: os parâmetros usados na classificação seguem os critérios da classe de floresta da FAO, onde a área deve ser maior do que 0,5 hectares e cobertura de dossel superior a 10% (HARGITA et al., 2016), além disso a formação florestal se caracteriza pelo predomínio de espécies arbóreas e dossel contínuo e, considerando a classificação das fitofisionomias de Ribeiro e Walter (2008), compreendem as classes de Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão (UFG, 2022).
- Formação savânica: contam com estratos arbóreo e arbustivo-herbáceos definidos e, considerando a classificação das fitofisionomias de Ribeiro e Walter (2008) compreendem as classes de Cerrado Sentido Restrito, a partir das fitofisionomias de Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo e Cerrado rupestre e Parque de Cerrado (UFG, 2022).
- Formação Campestre: se caracterizam pela predominância de estrato herbáceo e, considerando a classificação das fitofisionomias de Ribeiro e Walter (2008) compreendem campo sujo, campo limpo e campo rupestre (UFG, 2022). As principais formações, florestal, savânica e campestre, podem ser vistas na Figura 4.3 a seguir.

Figura 4.3 – Principais classes de uso e cobertura da terra utilizadas no estudo.



Fonte: Produção da autora.

Além das classes de vegetação nativa existem ainda outros usos da terra identificados pelo Mapbiomas, são eles: campo alagado e área pantanosa; pastagem; silvicultura; mosaico de agricultura e pastagem; outras áreas não vegetadas; rio, lago e oceano; mineração; área urbanizada; soja; outras lavouras temporárias e café (MAPBIOMAS, 2022c).

As classes do Mapbiomas não foram agrupadas nos processamentos, o que permite uma análise de ocorrência de queimada para cada uma das classes. Deste modo, todo conjunto de classes encontradas dentro do limite das áreas de estudo foram consideradas.

Após etapa de mapeamento de área queimada em cada um dos anos foram calculadas as recorrências de queimadas a partir de uma equação simples de *rasters*. Assim, em ambiente SIG, os *rasters* foram empilhados. Os valores de pixel 1 representavam áreas de queimadas e valores 0 de áreas não queimadas. Os arquivos foram empilhados e foi realizada uma soma dos valores obtendo-se assim as recorrências de queimada para cada um dos parques.

Na sequência os valores de recorrência foram sobrepostos as classes de uso e cobertura da terra para cada um dos parques tendo como base as classes do ano de 2020. O uso e cobertura da terra a partir dos dados do Mapbiomas foi analisado ao longo dos anos, e não foram identificadas diferenças expressivas de mudanças de classe. Após as sobreposições foram consideradas as classes de maior recorrência de queimadas.

5 VALIDAÇÃO DE CAMPO

Validações de campo são consideradas de fundamental importância para estudos de sensoriamento remoto. Para contribuir na elaboração do presente trabalho foram utilizados os dados de campo adquiridos entre os dias 02 e 20 de outubro de 2019.

Buscando uma maior eficiência no levantamento, foram classificadas imagens de satélite Landsat e identificadas as cicatrizes de queimada dos meses que antecederam o campo, a identificação das cicatrizes de queimada foi feita a partir do uso do *Google Earth Engine*. Após delimitadas as cicatrizes de queima, pontos aleatórios foram sorteados para a validação. Como informação complementar foram adquiridos pontos de não queimada e pontos de queimada recente, principalmente de queimadas que ocorreram após o período de processamento das imagens (DUTRA et al., 2021). As informações levantadas serão apresentadas nos tópicos a seguir.

5.1 Parque Nacional de Brasília

O campo no PNB teve início no dia 02 de outubro de 2019 e se estendeu até o dia 13 de outubro de 2019. Foram percorridos quase 600 km no interior e imediações do parque e validados 66 pontos de queimada com uso do GPS, além disso foram coletados 72 novos pontos de queimada recente e outros 33 pontos foram validados com uso do drone, totalizando 171 pontos.

No PNB as cicatrizes de queimada estavam situadas muito próximas às vias, facilitando a validação e aquisição de pontos, principalmente com o uso do GPS. Alguns pontos, principalmente aqueles localizados em áreas de gramíneas entre rodovias, não puderam ser validados, isso porque a regeneração das gramíneas é muito rápida, além disso, a manutenção dessas áreas remove os vestígios que evidenciam a queimada – como as cinzas - o que inviabiliza a identificação de uma eventual área queimada, esses pontos receberam a classificação como não identificados. Os pontos coletados em campo no PNB são descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Uso de pontos na validação da classificação de áreas queimadas no PNB.

Pontos	Pontos AQ	Pontos NQ	Pontos NI	Total
Validados GPS	51	9	6	66
Validados drone	26	0	7	33
Coletados campo	70	2	-	72

Fonte: Produção da autora.

5.2 Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

Após a atuação em campo no PNB a equipe se deslocou até o município de Alto Paraíso de Goiás – GO onde teve início a atuação de campo no PNCV, que ocorreu entre os dias 14 e 19 de outubro de 2019. Foram percorridos cerca de 700 km dentro e fora do parque – incluindo sua zona de amortecimento.

A mesma classificação de pontos, utilizada para o PNB, foi adotada para o PNCV, assim, foram validados 42 pontos de queimada com uso do GPS, coletados 57 novos pontos de queimada recente, e mais 37 pontos validados com uso do drone, totalizando 136 pontos validados e adquiridos em campo.

Diferente do PNB, o PNCV possui um relevo muito acidentado e com locais de difícil acesso, o que inviabilizou a validação de alguns pontos previamente selecionados, para esses casos o uso do drone foi de fundamental importância – já que no preparo dos dados para o campo foi estabelecido um buffer de 1,5 km das vias – distância passível de ser sobrevoada pelo drone. Os pontos validados e as respectivas classes podem ser vistos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Uso de pontos na validação da classificação de áreas queimadas no PNCV.

Pontos	Pontos AQ	Pontos NQ	Pontos NI	Total
Validados GPS	33	8	1	42
Validados drone	24	0	13	37
Coletados campo	53	4	-	57

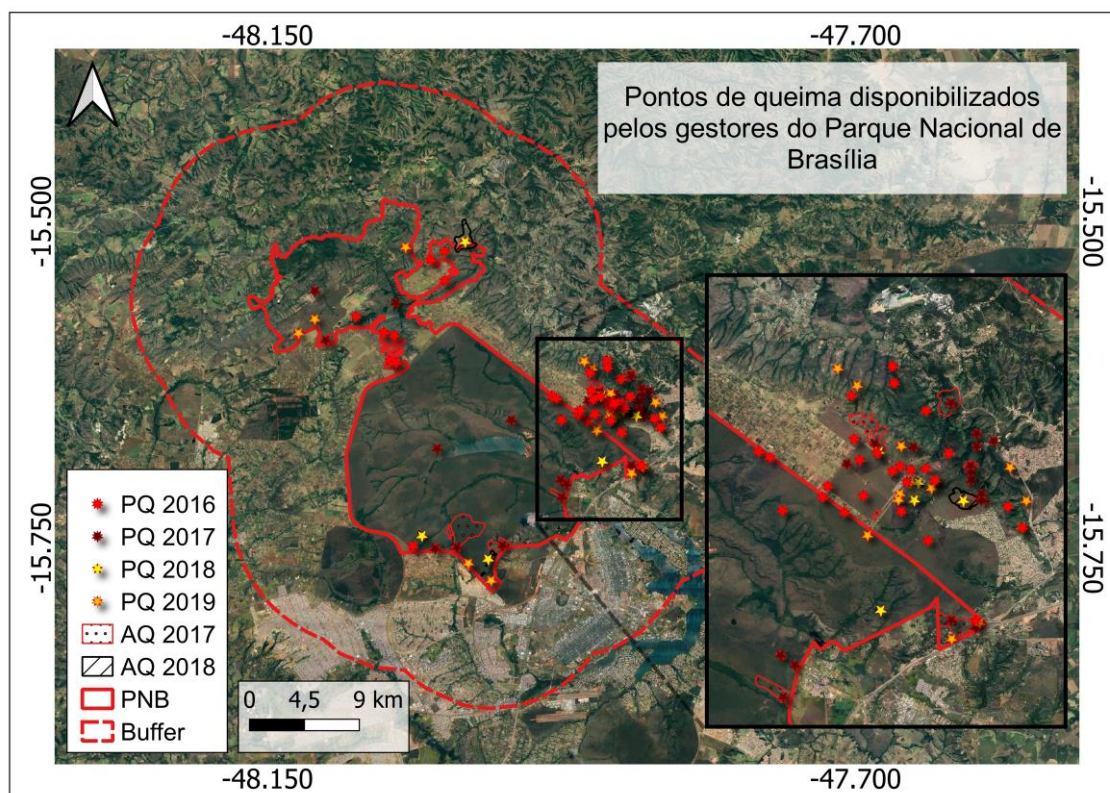
Fonte: Produção da autora.

5.3 Áreas de queimada controlada

Durante o campo uma importante parceria foi estabelecida com os brigadistas dos parques. Tanto o responsável pela brigada do PNB quanto o responsável pelo PNCV contam com registros próprios de áreas queimadas. Essas informações foram disponibilizadas em formato vetorial através de pontos e polígonos de queimada (tanto acidental quanto controlada) devidamente classificadas.

Alguns pontos de queimada (PQ) e áreas queimadas (AQ) que foram disponibilizadas pelo gestor do PNB são parte dos testes iniciais do Manejo Integrado do Fogo, onde ocorre a queimada controlada da vegetação. Os pontos e áreas de queimada disponibilizados pelo gestor do Parque Nacional de Brasília podem ser vistos na Figura 5.1.

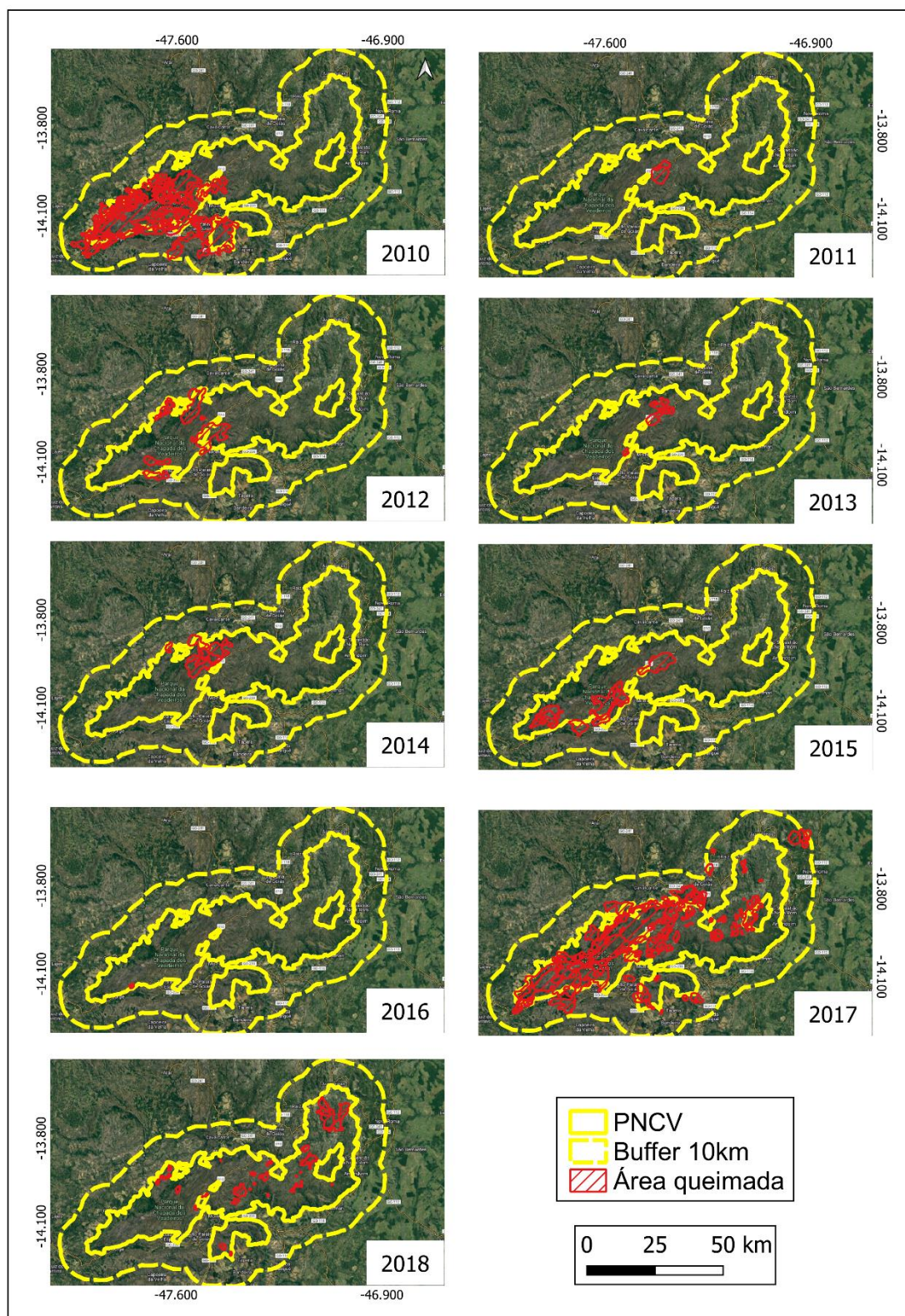
Figura 5.1 – Pontos e área de queimada disponibilizados pelos gestores do PNB.



Fonte: Produção da autora.

Já as áreas de queimada disponibilizadas pelo gestor do PNCV foram identificadas a partir do uso de GPS durante e após o combate de fogo no parque, é importante destacar que as geometrias foram delimitadas visualmente no *Google Earth* pelo gestor e brigadistas do parque, sendo estes vetores uma estimativa das áreas queimadas. As áreas delimitadas podem ser vistas na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Áreas de queimada disponibilizados pelos gestores do PNCV.



Fonte: Produção da autora.

Os resultados obtidos no trabalho de dissertação, com a identificação das áreas queimadas para a série histórica, serão disponibilizados aos gestores dos parques, essa ação será realizada em parceria com o projeto “Desenvolvimento de um Sistema de Informações de Risco de Incêndios (SIRI) para as Unidades de Conservação do Bioma Cerrado como suporte à tomada de decisão” (CNPq IBAMA Prevfogo).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Índices de vegetação na identificação de áreas queimadas

O comportamento dos índices de vegetação NDVI e NDWI, testados na metodologia, mostraram pouca variação na acurácia no mapeamento de áreas queimadas para as áreas do estudo (PNB e PNCV), contudo o NDVI combinado com o NBR2 revelou valores superiores de acurácia, mesmo que sutis, em 65% dos mapeamentos quando comparado ao NDWI combinado ao NBR2.

O NDVI considera as bandas do infravermelho próximo, relacionada a estrutura celular das plantas, e do vermelho, relacionada a absorção de clorofila. Após a ocorrência de queimada a vegetação consumida pelo fogo não absorve mais no comprimento do vermelho, o que ajuda a explicar a melhora sutil na acurácia dos mapeamentos.

O uso dos índices NBR2 e NDVI em uma imagem obtida através de um mosaico anual do desvio padrão de mínimos e máximos foi eficiente na classificação de áreas queimadas, isso porque após o cálculo do desvio padrão, utilizado na composição do mosaico, foi representativo para as variações nos valores dos pixels de área queimada, permitindo assim sua identificação.

6.2 Área queimada

Os fatores (umidade, precipitação, ocorrência e direção dos ventos) que interferem na ocorrência de queimadas variam e com isso a severidade dos incêndios florestais e a extensão das áreas queimadas também variam. Essas variações interferem também na resposta espectral das áreas queimadas, isso porque em anos de grandes incêndios florestais as cicatrizes de queimada permanecem mais tempo no campo enquanto em anos de queimadas mais brandas o retorno da vegetação tende a ser mais rápido, dado que a vegetação não é impactada pela passagem do fogo.

A coleta de amostras para cada um dos parques em cada um dos anos foi efetiva para a análise histórica das áreas queimadas, isso porque as classificações contaram com amostras que consideraram padrões específicos de queimada para cada uma das áreas selecionadas em cada um dos anos. Uma única coleta

de amostras para múltiplas classificações é positiva pois reduz substancialmente o tempo destinado a coleta destas, contudo, a variação nos padrões de queimada ao longo dos anos pode prejudicar a assertividade do classificador. Os valores de área queimada para cada um dos parques e o buffer de amortecimento, obtidas através do classificador, podem ser vistos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Área queimada 2000-2020 (em ha).

Ano	PNB - parque	PNB - buffer	PNB total	PNCV - parque	PNB - buffer	PNCV total
2000	2159,46	8858,18	11017,64	65118,10	46787,99	111906,09
2001	1368,78	9841,79	11210,57	18746,74	27623,70	46370,43
2002	2434,00	9335,10	11769,10	20998,75	16953,53	37952,29
2003	1659,74	15866,59	17526,34	24247,22	17724,36	41971,58
2004	3214,61	18312,45	21527,06	49828,27	31279,41	81107,68
2005	1637,72	20166,03	21803,75	31515,37	30040,70	61556,08
2006	899,55	12737,71	13637,26	38218,29	19107,29	57325,58
2007	11969,31	19068,02	31037,32	80184,93	76474,17	156659,10
2008	1679,20	11695,17	13374,36	25528,01	22550,19	48078,20
2009	641,57	4175,60	4817,17	16356,15	6919,00	23275,15
2010	17956,29	25388,77	43345,06	85364,96	60377,45	145742,41
2011	843,79	11815,87	12659,66	30328,40	25564,24	55892,64
2013	190,80	9840,20	10031,00	13378,69	4264,77	17643,46
2014	2414,31	18853,75	21268,06	46521,36	23651,29	70172,65
2015	404,28	8848,62	9252,90	43184,14	33013,30	76197,44
2016	1417,07	9026,61	10443,68	35612,93	18083,52	53696,45
2017	5184,37	10251,23	15435,60	20310,19	23158,92	43469,11
2018	1853,24	15568,77	17422,01	13536,96	26937,99	40474,96
2019	2030,14	15002,01	17032,15	30598,07	62322,84	92920,91
2020	2028,31	7555,24	9583,55	19160,82	27554,24	46715,06

Fonte: Produção da autora.

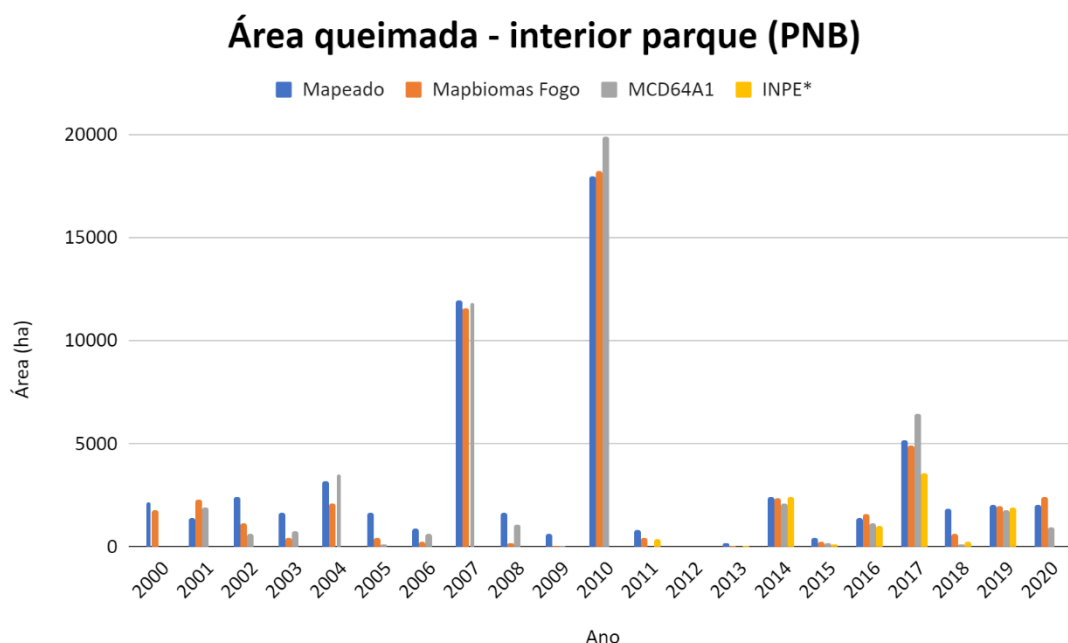
Os anos de maior ocorrência de queimada para ambos os parques foram 2007 e 2010 e coincidem com os anos de estiagem prolongada na região do planalto central. Nesses anos os incêndios tomaram grandes proporções e foram difíceis de serem contidos. Conforme dados do Manejo Integrado do Fogo, o grande acúmulo de biomassa na vegetação é um fator que contribui para propagação e aumento dos incêndios, trazendo dificuldades para os brigadistas em sua contenção.

As análises mais detalhadas para cada um dos parques, bem como comparativos com as áreas de amortecimento e uso e cobertura da terra, serão abordadas a seguir.

6.2.1 Áreas queimadas (PNB)

As áreas queimadas identificadas pelo classificador foram comparadas com dados do Mapbiomas Fogo, MCD64A1 e o modelo de classificação do INPE. De maneira geral, considerando os limites do parque, as queimadas seguiram a mesma distribuição ao longo dos anos, conforme Figura 6.1.

Figura 6.1 – Comparativo de áreas queimadas no interior do PNB (2000-2020).



Fonte: Produção da autora.

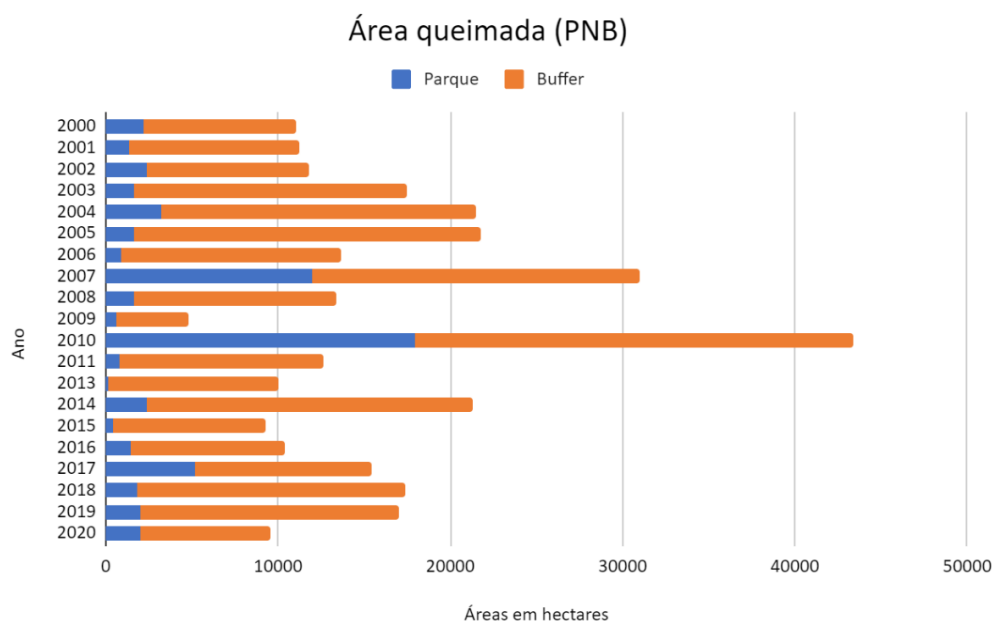
Os dados disponibilizados e processados pelo INPE, considerando a órbita ponto onde está situado o parque, estão disponíveis apenas a partir de 2011. A metodologia utilizada no projeto Queimadas (INPE) seleciona algumas cenas Landsat livres de nuvens do período seco para processamento e classificação. Deste modo, algumas cenas Landsat não são analisadas, o que justifica os valores mais baixos nos valores de área queimada no comparativo dos anos 2011-2013 e 2015 a 2019, os valores para o ano de 2020 não estavam disponíveis na plataforma até a realização do presente estudo.

O ano de 2014 contou com maior número de imagens processadas pelo INPE (10 cenas) onde foram identificados 2.440,0 hectares de área queimada, para o mesmo ano foram identificados 2.414,3 hectares de área queimada pelo classificador, 2.075,0 hectares pelo produto MCD64A1 e 2.323,4 hectares pelo Mapbiomas. Os valores mais elevados identificados pelo INPE podem ser justificados pelo fato das cicatrizes de queimada no ano de 2014 estarem visíveis nas dez cenas analisadas e a diferença, mesmo que sutil, é justificada principalmente pela delimitação das bordas das áreas queimadas.

Os valores encontrados ao longo da série são próximos dos valores da série de dados MCD64A1 e Mapbiomas Fogo, apenas os anos de 2002 e 2005 divergiram significativamente da série. É válido destacar que durante o processo de classificação vários conjuntos de amostras foram testados buscando melhorias no classificador para esses anos, no comparativo com as imagens de satélite. Contudo, alguns polígonos de queima, inseridos nas amostras, contaram com queimadas brandas que, por sua vez, contaram com retorno rápido da vegetação, esse comportamento pode ter gerado confusões, que identificou um volume maior de áreas queimadas quando comparado com Mapbiomas Fogo e MCD64A1 por incluir áreas de vegetação com perda de vigor – mas sem ocorrência de queima. A tabela com os dados de todos os mapeamentos de área queimada pode ser vista no Apêndice A1.

Em relação ao padrão de queima, o PNB conta com a maior porção das queimadas localizadas na zona de amortecimento do parque (buffer de 10km). Contudo, nos anos de 2007 e 2010 tanto a área do parque quanto a zona de amortecimento foram impactadas pelas queimadas, como pode ser visto na Figura 6.2.

Figura 6.2 – Áreas queimadas no parque e na zona de amortecimento para o PNB.

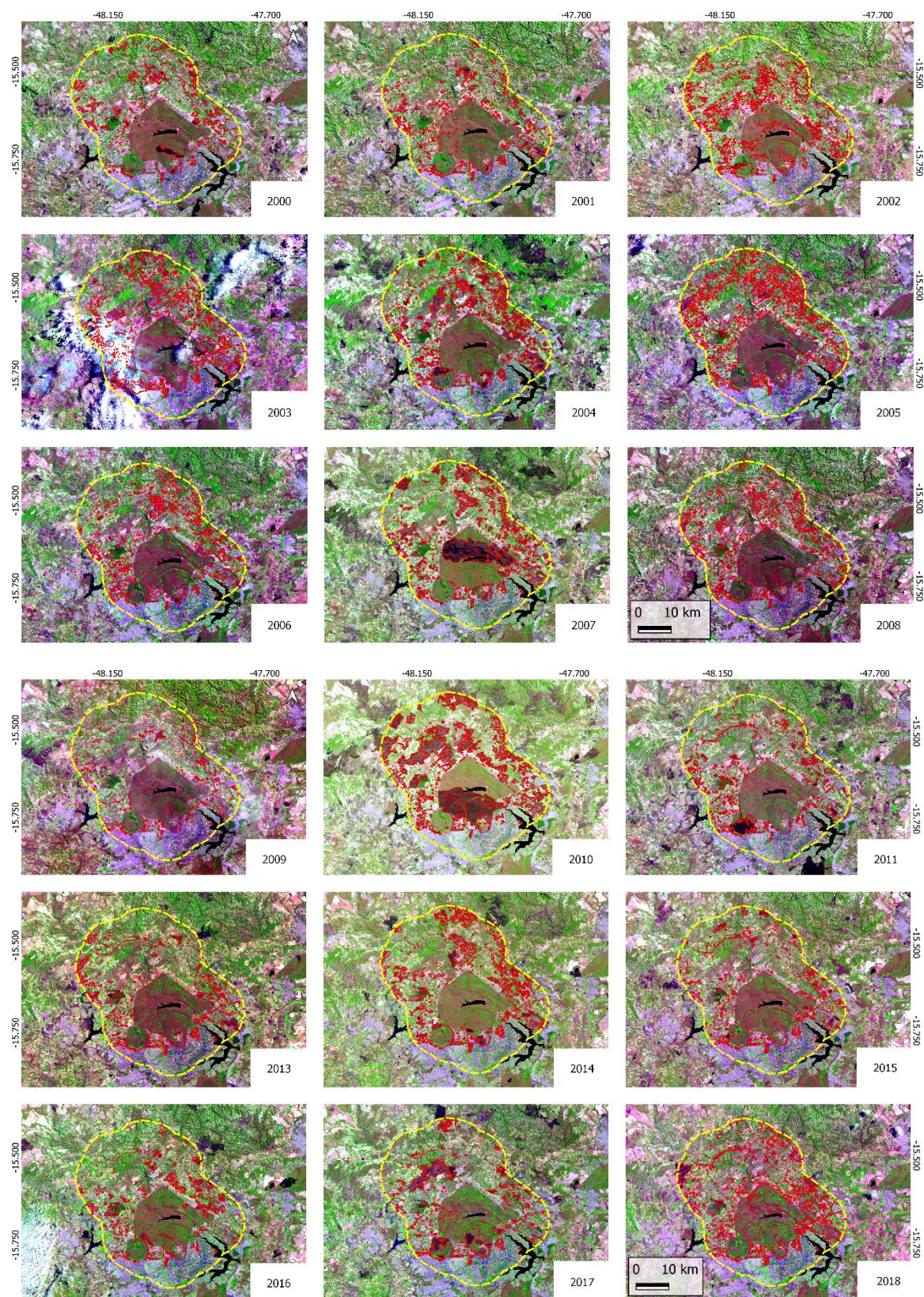


Fonte: Produção da autora.

O MIF, implementado em 2018, busca realizar a queimada prescrita de áreas com grande acúmulo de vegetação (PLANALTO, 2018) essas áreas servem de combustível na propagação de grandes incêndios florestais, dificultando a contenção e extinção do fogo. Desde sua implementação, ainda recente, não foram identificadas ocorrências de grandes incêndios como ocorrido em anos anteriores, como os anos de 2007 e 2010, por exemplo, tal fato pode estar associado a implementação do MIF na unidade de conservação. A realização da queimada prescrita e de aceiros restringem a propagação do fogo nos limites definidos por essas barreiras.

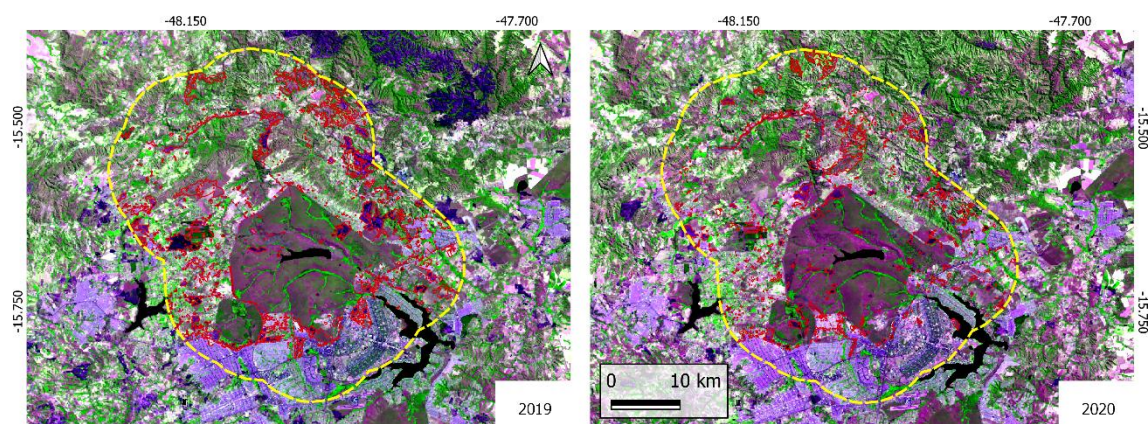
As áreas queimadas para o Parque Nacional de Brasília e sua zona de amortecimento em cada um dos anos podem ser vistas nas Figuras 6.2 e 6.3.

Figura 6.3 – Áreas queimadas no PNB (2000-2018).



Fonte: Produção da autora.

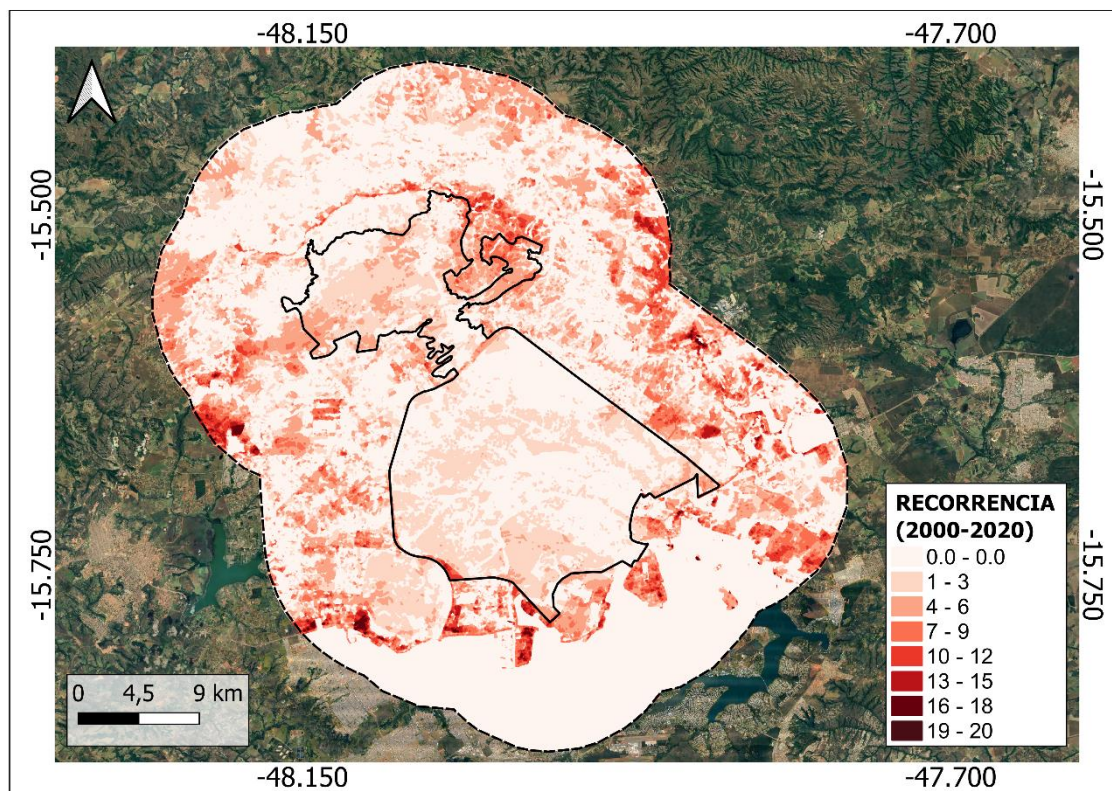
Figura 6.4 – Áreas queimadas no PNB (2019-2020).



Fonte: Produção da autora.

A zona de amortecimento do parque concentrou a maior recorrência de queimada ao longo dos anos. Em relação ao uso e cobertura, a área conta com predomínio de pastagens e de ocupação urbana. A recorrência de queimada pode ser vista na Figura 6.5.

Figura 6.5 – Recorrência de queimadas no PNB (2000-2020).

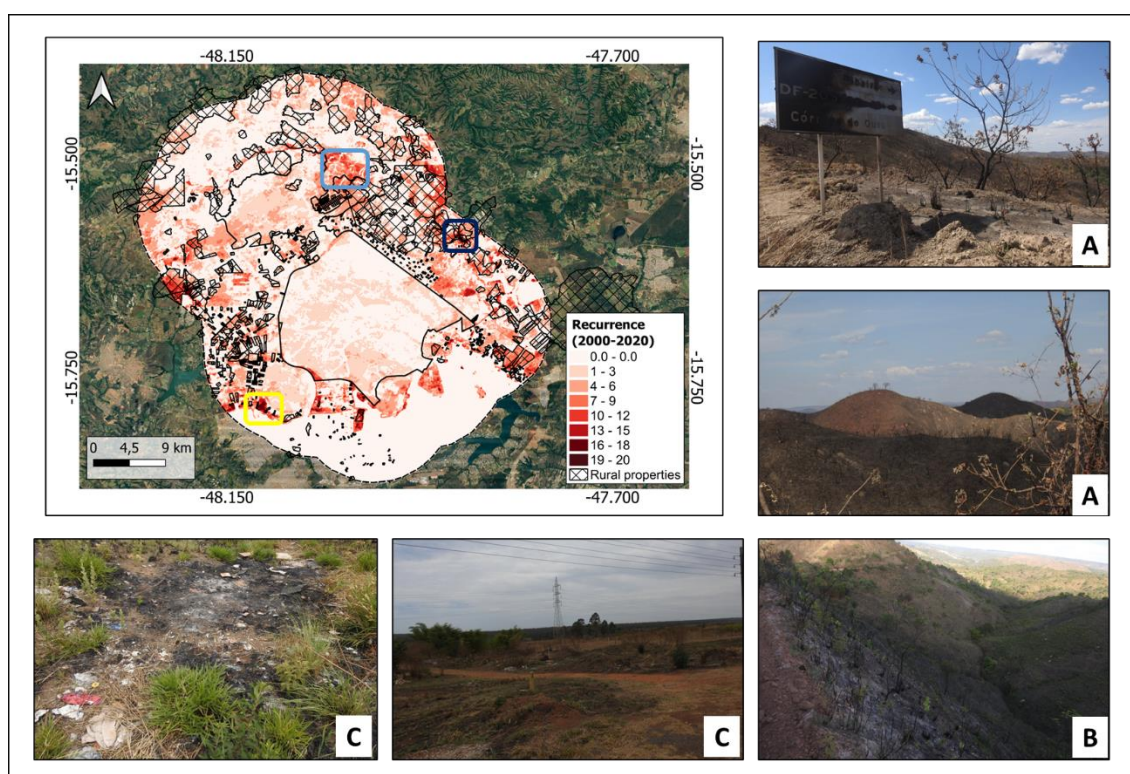


Fonte: Produção da autora.

As maiores recorrências de queimadas estão localizadas na área de amortecimento do parque. A interferência antrópica nesses pontos pode ser justificada pela queimada da pastagem – acelerando o processo de rebrota da vegetação – ou, em proximidades de áreas urbanas. Segundo relato dos gestores do parque, em regiões que não são atendidas pelo sistema de coleta de resíduos orgânicos e recicláveis, onde moradores realizam a queimada do lixo.

Em relação as recorrências de queimadas e propriedades rurais, é possível identificar que as regiões com maiores recorrências de queimadas estão próximas dos polígonos do CAR, ou próximas de ocupações urbanas, conforme Figura 6.6.

Figura 6.6 – Classes de recorrências de queimadas para o PNB (2000-2020).



A) Áreas de pastagem na divisa norte do parque com 13 recorrências de queimadas; B) área de pastagem na zona de amortecimento do parque em propriedade privada com 18 recorrências de queimadas; C) áreas na zona de amortecimento, próximo a ocupação urbana, onde é comum a queimada de lixo doméstico pelos moradores (20 recorrências).

Fonte: Produção da autora.

Outra área de recorrência 20, totalizando 0,6 hectares, foi identificada em uma região de mineração na zona de amortecimento do parque. É possível visualizar solo exposto ao longo de toda a série histórica. A resposta espectral da área de mineração confundiu o classificador e não foi possível confirmar a ocorrência de queimada nas imagens de satélite.

Em relação a coleta de amostras de campo, elas foram utilizadas no processo de validação dos mapas finais. Do total de amostras coletadas (144) para o ano de 2019, 133 pontos estão inseridos nos polígonos de área queimada mapeada pelo classificador, 6 pontos estão situados exatamente no limite das áreas queimadas e contam com deslocamento de alguns pixels. Por fim, 1 ponto de campo estava distante dos polígonos de área queimada. Segundo relatos dos gestores, a queimada se deu a partir da ocorrência de um raio, dado que a cicatriz foi pequena, pela contenção rápida do fogo, o classificador não delimitou a área.

Analisando os dados dos mapas anuais e de recorrências foi possível identificar que a classe água do Mapbiomas (Rio, lago e Oceano) contou com ocorrências de queimadas. O que justifica essa ocorrência é o fato de que as imediações da represa Santa Maria, situada na porção central do parque, contou com diminuição no nível de água da represa, associados a própria sazonalidade do regime de chuvas. Essa diminuição no nível de água favoreceu o crescimento de uma vegetação rasteira nas bordas. Em ocorrências de queimadas em alguns anos, como 2007, 2010 e 2018, chegou até os limites da represa e consumiu a vegetação. Na Figura 6.7 é possível visualizar a vegetação encontrada na margem da represa.

Figura 6.7 – Vegetação na margem da represa Santa Maria.



Fonte: Produção da autora.

Em relação ao uso e cobertura da terra, as classes com maior recorrência de queimadas no interior do parque são formação savânica e formação campestre e pastagem. Considerando os limites anteriores ao ano de 2016 do parque (apenas a porção sul) temos que quase a recorrência máxima é 3 enquanto os valores máximos na área acrescida, porção norte, é de até 9 recorrências.

Considerando as recorrências superiores a 9 elas estão localizadas na zona de amortecimento do parque. As classes de maior destaque, a partir da classificação do Mapbiomas, são ‘Mosaico de agricultura e pastagem’ e ‘Área urbanizada’ que contam com até 19 recorrências de queimadas. A tabela com a descrição de todos os valores e recorrências pode ser vista no Apêndice A2.

O número baixo de recorrências de queimada no interior do Parque Nacional de Brasília pode ser explicado pela boa infraestrutura de combate a incêndios florestais no Distrito Federal (ICMBio, 2016) e a facilidade de acesso no interior do parque – com caminhos e relevo que facilitam o acesso.

É importante destacar que a infraestrutura disponível e os acessos facilitados não impedem a ocorrência de queimadas, mas facilitam sua contenção. Contudo os anos de 2007 e 2010 contaram com grandes incêndios florestais – mesmo

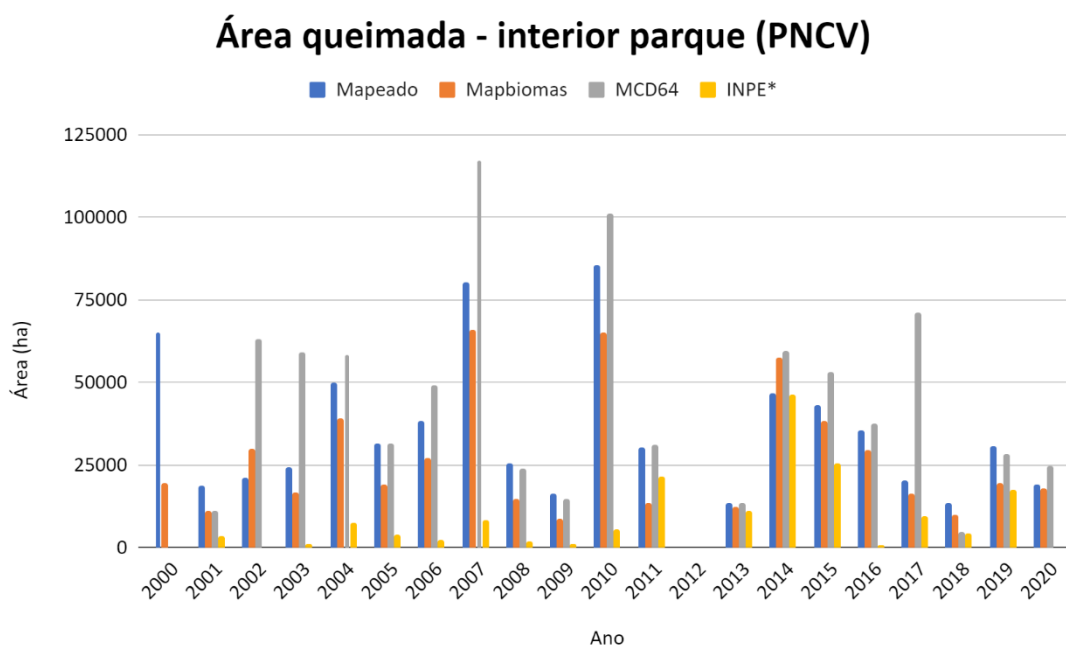
com a infraestrutura disponível. Nesse sentido, o MIF busca mitigar ainda mais essas ocorrências de incêndios florestais.

6.2.2 Áreas queimadas e recorrência de queimadas (PNCV)

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros é a maior reserva de Cerrado no mundo e, por conta disso, conta com grande extensão territorial. Além da grande extensão, seu relevo acidentado, com declives e desfiladeiros, dificulta e por vezes impossibilita a contenção do fogo em ocorrências de queimada em alguns pontos. Além disso, a infraestrutura de combate ao fogo é limitada considerando a extensão da unidade de conservação.

As áreas queimadas identificadas foram comparadas com dados do Mapbiomas Fogo, MCD64A1 e o modelo de classificação do INPE. Em relação ao comparativo de áreas queimadas no interior do parque as queimadas divergiram um pouco em alguns anos, conforme Figura 6.8.

Figura 6.8 – Comparativo de áreas queimadas no interior do PNCV (2000-2020).



Fonte: Produção da autora.

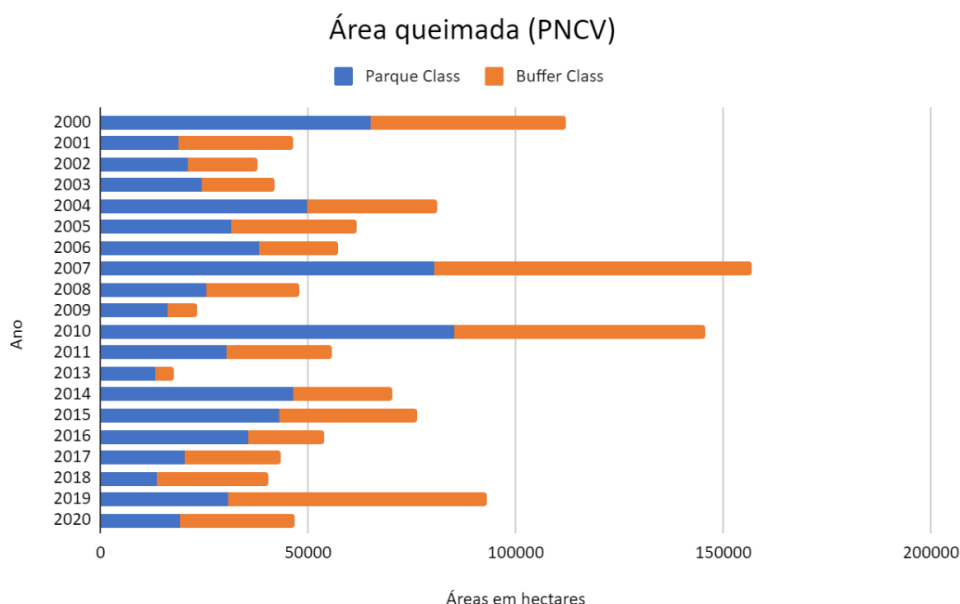
Os dados disponibilizados e processados pelo INPE estão disponíveis apenas a partir de 2001 e não consideraram todas as cenas Landsat disponíveis em cada um dos anos nem para toda a extensão do parque, dado que a área do parque

ocupa duas cenas Landsat. Mesmo com a soma da área queimada nas duas cenas os valores são muito menores quando comparado aos demais mapeamentos (Classificador, MCD64A1 e Mapbiomas Fogo).

Analisando a distribuição dos dados é possível identificar a divergência de áreas queimadas no ano de 2017 entre o MCD64A1 e os demais classificadores. Tal fato pode ser justificado pela resolução temporal das imagens utilizadas. Em outubro de 2017 ocorreu um grande incêndio florestal que consumiu uma grande extensão do parque. As imagens do sensor OLI do Landsat estavam encobertas por nuvens, o que impossibilitou sua identificação. Após mais de dois meses de imagens encobertas por nuvens algumas cicatrizes puderam ser identificadas, mas isso só foi possível no ano seguinte, com as imagens de 2018. Deste modo, uma porção significativa de áreas queimadas em 2017 não foram mapeadas pelo classificador e pelo projeto Mapbiomas Fogo. Considerando que os dados do MCD64A1 são composições mensais advindas de imagens diárias a identificação dessas áreas queimadas tornou-se possível. A tabela com os dados de todos os mapeamentos de área queimada pode ser vista no Apêndice A3.

O ano 2000 também contou com diferenças significativas entre os valores encontrados pelo classificador e Mapbiomas. Analisando o resultado foi possível identificar que o classificador, assim como os anos de 2002 e 2005 do Parque Nacional de Brasília, identificou como queimada algumas áreas de solo exposto e rochas. Em relação a área queimada identificada pelo classificador, o padrão do PNCV é de que as áreas queimadas no interior do parque são maiores do que as áreas queimadas na zona de amortecimento (buffer de 10 km), conforme mostra a Figura 6.9.

Figura 6.9 – Áreas queimadas no parque e na zona de amortecimento para o PNCV.



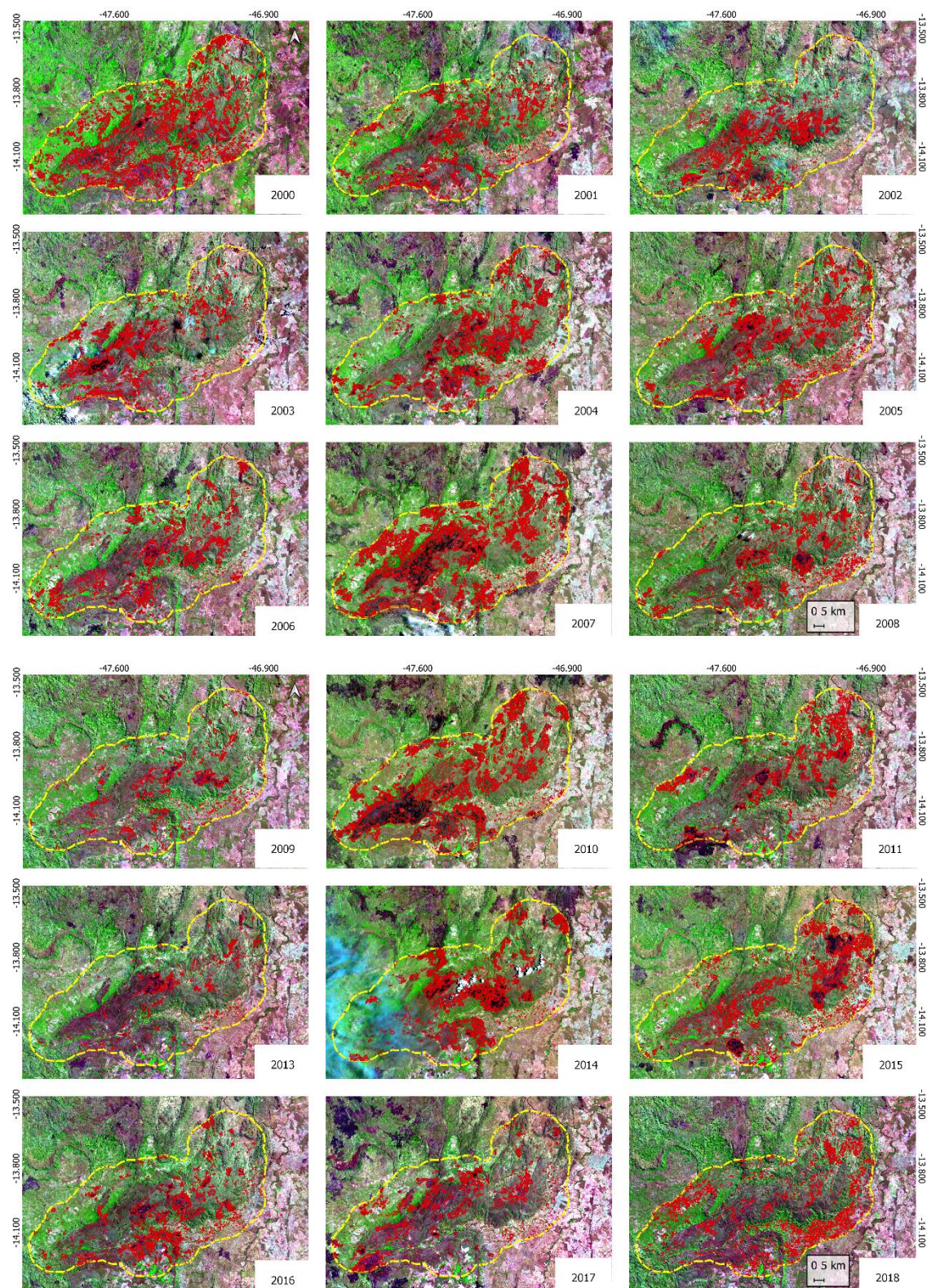
Fonte: Produção da autora.

Assim como para o PNB, anos de 2007 e 2010, no interior do parque e na zona de amortecimento, contaram com as maiores ocorrências de queimadas consumindo grandes áreas do parque e de suas imediações.

Existem propriedades rurais dentro dos limites da unidade de conservação, isso ocorre porque desde a última ampliação do parque as indenizações aos proprietários ainda não foram integralmente realizadas. Todo esse processo de indenização aos proprietários rurais é burocrático. Nesse sentido, alguns proprietários seguem desenvolvendo atividades agropastoris no interior do parque, que incluem o uso do fogo em práticas de manejo. Como destacado anteriormente, por vezes essas queimadas escapam dos limites da propriedade e consome a vegetação protegida do parque.

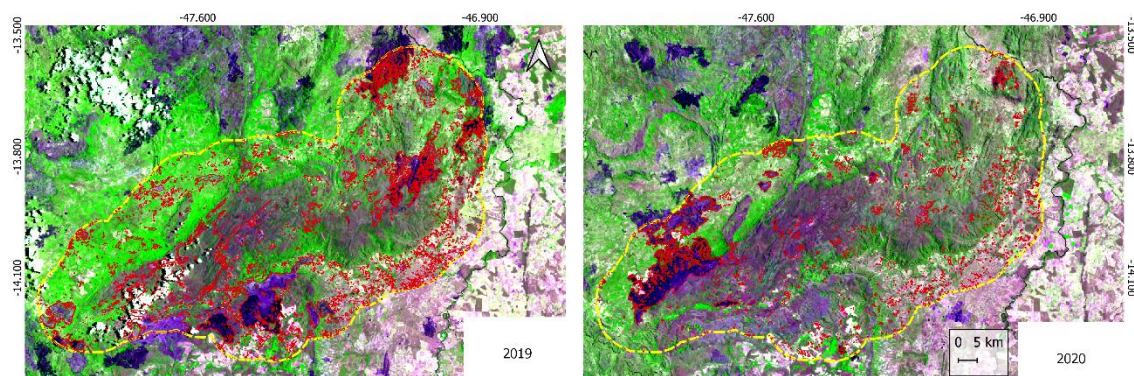
Paralelo a isso, outro fator que impacta também na contenção das queimadas é o tempo de deslocamento até as frentes de fogo, dado a grande extensão do parque e uma equipe pequena atuante no monitoramento. Assim, desde a identificação da ocorrência até o combate efetivo existe um espaço grande de tempo. As áreas queimadas para cada um dos anos podem ser vistas nas Figuras 6.10 e 6.11.

Figura 6.10 – Áreas queimadas no PNCV (2000-2018).



Fonte: Produção da autora.

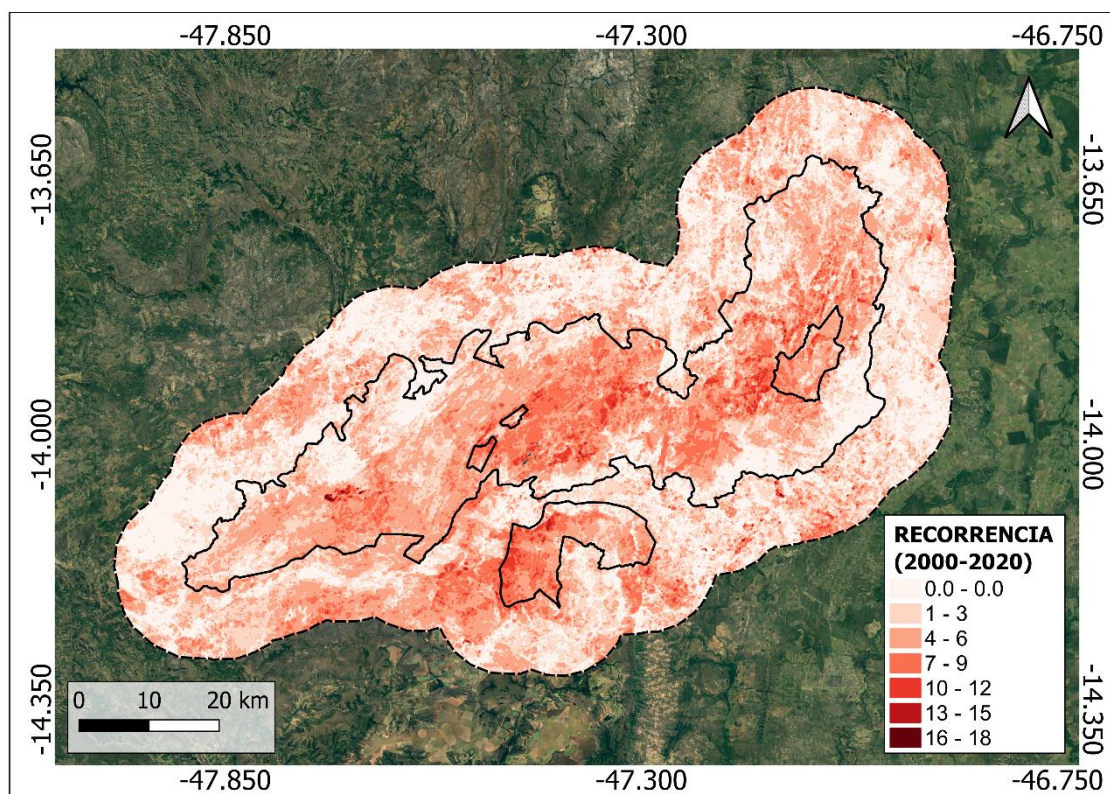
Figura 6.11 – Áreas queimadas no PNCV (2019-2020).



Fonte: Produção da autora.

Em relação a recorrência de queimadas, a distribuição das recorrências difere do PNB, onde as maiores recorrências estão localizadas no interior do parque, principalmente em áreas de maior declividade (desfiladeiros e rochedos escarpados) e áreas de pastagem (Figura 6.12).

Figura 6.12 – Recorrência de queimadas no PNCV (2000-2020).

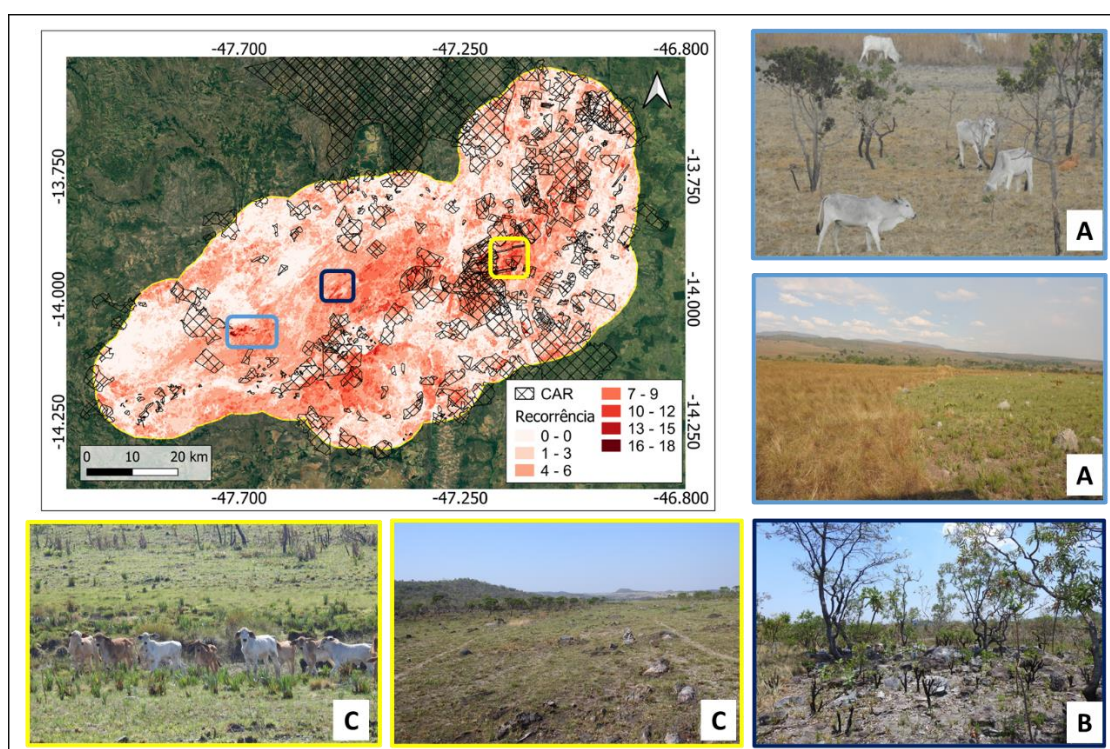


Fonte: Produção da autora.

A interferência antrópica no interior da unidade de conservação, principalmente em áreas destinadas a pastagem, justifica os valores de até 17 recorrências de queimadas. A classe de outras áreas não vegetadas do Mapbiomas, formada principalmente por afloramentos rochosos, também conta com alta recorrência de queimadas (18) o que pode ser justificado por serem áreas de difícil acesso para contenção de queimada.

Em relação as recorrências de queimadas em propriedades rurais, é possível identificar que as regiões com maiores recorrências de queimadas estão inseridas próximas a polígonos do CAR. As classes com maior recorrência de queimadas, onde foram realizadas validações de campo, podem ser vistas na Figura 3.13.

Figura 6.13 – Classes de recorrência de queimadas para o PNCV (2000-2020).



A) Áreas de pastagem no interior do parque com 18 recorrências de queima; B) área de afloramento rochoso no interior do parque; C) áreas de pastagem no interior da unidade de conservação.

Fonte: Produção da autora.

As classes de maior extensão e recorrência de queimadas são formação savânica e campestre, encontradas principalmente no interior do parque. As classes de pastagem e mosaico de agricultura e pastagem, encontradas principalmente na zona de amortecimento do parque, também contam com valores altos de ocorrência. Em relação a ocorrência e recorrência de queimadas na classe água (Rio, Lago e Oceano), muitas áreas queimadas estão localizadas próximas a corpos d'água, contudo o classificador não foi capaz de delimitar os corpos d'água, que foram classificados como queima.

Em relação a coleta de amostras de campo, elas foram utilizadas no processo de validação dos mapas finais. Do total de amostras coletadas para o ano de 2019, (110 pontos com uso de GPS e Drone), 87 pontos estão inseridos nos polígonos de área queimada mapeada pelo classificador, 10 pontos estão situados exatamente no limite das áreas queimadas e contam com deslocamento de alguns pixels. Por fim, 13 pontos de campo estavam distantes dos polígonos de áreas queimadas, através da análise das imagens essas ocorrências estão associadas a pequenas áreas de queimadas (alguns pixels da imagem) e não foram identificados pelo classificador.

O número elevado de recorrências de queimada no interior do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros pode ser explicado pela necessidade de melhorias na infraestrutura de combate a incêndios florestais do estado (ICMBio, 2009) e a dificuldade de acesso a determinadas áreas no interior do parque – considerando o relevo acidentado. A tabela com a descrição de todos os valores e recorrências pode ser vista no Apêndice A4.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As unidades de conservação do bioma Cerrado contam com diferentes padrões de fogo, que podem estar associadas as diferenças de relevo dos parques (que dificultam o acesso de algumas áreas na contenção das queimadas), e podem estar associadas também a própria extensão do parque e o número de brigadistas que atuam no monitoramento das áreas ou associadas a ocupação da unidade de conservação ou suas imediações, onde a prática de atividades agropastoris podem estar em dissonâncias com as práticas de proteção das unidades.

Em relação ao mapeamento de áreas queimadas, o método utilizado nessa dissertação, com o uso de índices espectrais em um mosaico de imagens Landsat, mostrou-se efetivo na identificação de cicatrizes de queima. A composição do mosaico, através do cálculo do desvio padrão dos mínimos e máximos, realçou as áreas queimadas e possibilitou o mapeamento dessas áreas queimadas.

Contudo, a combinação de diferentes conjuntos de dados, com resolução espacial e temporal distintas, pode trazer maior acurácia na identificação de áreas queimadas, isso porque a resolução temporal das imagens Landsat (16 dias) associada a um extenso período de nuvens prejudicou a identificação das áreas queimadas, como ocorrido no PNCV no ano de 2017. Nesse sentido, a combinação com dados diários ou produtos advindos de dados diários (como MCD64A1) pode trazer melhorias para os mapeamentos de áreas queimadas.

Os resultados apresentaram algumas confusões em alguns dos anos analisados (2000, 2002 e 2005 principalmente), isso pode ser justificado pela similaridade na resposta espectral das amostras de queimadas coletadas para o ano com áreas de solo exposto e afloramentos rochosos. Em contrapartida, em anos de maior ocorrência de queimadas, como 2007 e 2010, por exemplo, os resultados obtidos estão aderentes as cicatrizes de queimadas nas imagens. Tal fato pode ser explicado pelos padrões de queimadas bem definidos e presentes por mais tempo nas imagens, dado que os grandes incêndios florestais contam com

queimas mais severas e, por consequência, as cicatrizes permanecem mais tempo no campo e nas imagens.

A coleta de amostras de treinamento com uma boa distribuição espacial e entre as classes de uso e cobertura da terra, principalmente nas classes com ocorrência de afloramentos rochosos, foi uma etapa importante para a obtenção de bons resultados de classificação. Nesse sentido, as amostras consideraram o padrão de queimada para a área de estudo em cada um dos anos analisados. A metodologia se mostrou positiva quanto aos resultados obtidos nas classificações, mas, em contrapartida, a coleta anual de amostras pode ser um limitador em mapeamentos de grandes áreas ou de séries temporais mais longas, por trazer um grau de complexidade para os mapeamentos – como o desenvolvido pelo Mapbiomas Fogo, que conta com uma única entrada de amostras para a classificação de toda a série histórica.

Com base nas conclusões apresentadas e a partir da análise da série histórica de queimadas nas unidades de conservação apresentadas, podemos perceber que o Parque Nacional de Brasília e o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, podem ser excelentes casos de estudos para o acompanhamento das ações do Manejo Integrado do Fogo. Isso porque a partir da análise da série histórica, com ocorrência de grandes incêndios florestais, será possível acompanhar se as ações propostas pelo projeto estão sendo eficientes na mitigação dessas ocorrências.

Além disso, os recentes debates acerca da ampliação das unidades de conservação, bem como regularização fundiária de imóveis rurais, localizados no interior das unidades de conservação, com práticas de manejo muitas vezes dissonantes das práticas protecionistas das unidades, podem ser analisados através da série histórica de queimadas, com acompanhamento das ocorrências de queimadas nas áreas. Além disso, essas inclusões de áreas nos limites da unidade de conservação, bem como as regularizações de áreas já incluídas, podem acarretar mudanças no uso e cobertura da terra.

Para trabalhos futuros recomenda-se, em relação a classificação, a combinação de dados com maior resolução espacial e temporal. A separação em períodos úmidos e secos para melhor discriminar as ocorrências de queimadas entre esses períodos. A metodologia utilizada buscou trazer recortes anuais, mas outros recortes, considerando a dinâmica de chuvas, podem trazer discussões importantes sobre os padrões temporais das queimas, principalmente nos anos de grandes incêndios florestais.

Recomenda-se também a utilização de dados de temperatura e precipitação para análises mais aprofundadas acerca das ocorrências de queimadas, relacionadas a resposta da vegetação. Esses dados podem ser utilizados tanto para os classificadores quanto para validações e discussões sobre as ocorrências de queimadas.

Por fim, os métodos descritos no presente trabalho podem ser utilizados na identificação e mapeamento de cicatrizes de queimadas em outras unidades de conservação, que podem ajudar na compreensão temporal e espacial das áreas queimadas – promovendo discussões e debates acerca da problemática de fogo nas unidades de conservação do bioma Cerrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Aprovada ampliação do Parque Nacional de Brasília. Câmara dos Deputados.** Brasília – DF, 2006. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/79585-aprovada-ampliacao-do-parque-nacional-de-brasilia/>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. PL 4379/2020. **Altera o Decreto s/nº de 10 de junho de 1999, que cria a Floresta Nacional de Brasília, o Decreto s/nº de 13 de dezembro de 2002, que cria a Reserva Biológica da Contagem, e dá outras providências.** Brasília – DF, 2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2311571>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Projeto altera limites da Floresta Nacional de Brasília e cria parque nacional. Câmara dos Deputados.** Brasília – DF, 2022. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/847121-PROJETO-ALTERA-LIMITES-DA-FLORESTA-NACIONAL-DE-BRASILIA-E-CRIA-PARQUE-NACIONAL#:~:text=O%20Projeto%20de%20Lei%204379,agora%20na%20C%C3%A2mara%20dos%20Deputados>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- AGROSATÉLITE. **Análise geoespacial da soja bioma Cerrado.** 2020. 60 p. Disponível em: https://abiove.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Relat%C3%B3rio_An%C3%A1lise-Geoespacial-da-Soja-no-Cerrado_pt.pdf. Acesso em: 20 jun. 2021.
- ALENCAR, A. Z.; SHIMBO, J.; LENTI, F.; BALZANI MARQUES, C.; ZIMBRES, B.; ROSA, M.; BARROSO, M. Mapping three decades of changes in the brazilian Savanna native vegetation using Landsat data processed in the google earth engine platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, e 924, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12060924>.
- ALVARADO, S. T.; SILVA, T. S. F.; ARCHIBALD, S. Management impacts on fire occurrence: a comparison of fire regimes of African and South American tropical Savannas in different protected areas. **Journal of Environmental Management**, v. 218, p. 79-87, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.004>.
- ARRUDA, V. L.; PIONTEKOWSKI, V. J.; ALENCAR, A.; PEREIRA, R. S.; MATRICARDI, E. A. An alternative approach for mapping burn scars using Landsat imagery, Google Earth Engine, and Deep Learning in the Brazilian Savanna. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 22, e 100472, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100472>.
- AZEVEDO, L. G. Tipos de vegetação do sul de Minas e campos da Mantiqueira (Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 34, n. 2, p. 225-234, 1962.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v.58, p.116-127, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>.

BREIMAN, L. Random forests. **Machine Learning**, v. 45, p. 5-32, 2001.

BRASIL. CAMARA DOS DEPUTADOS. **PL 11276/2018**: institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo; e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2190265>. Acesso em: 14 fev. 2022.

BRASIL. CAMARA DOS DEPUTADOS. **Portaria nº 3.899, de 24 de dezembro de 2018**: Art. 6º As ações de Manejo Integrado do Fogo (MIF) serão prioridade do Programa de Brigadas Federais, como meio de prevenção aos grandes incêndios florestais. 2018. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1703491. Acesso em: 14 jan. 2022.

BRASIL. CAMARA DOS DEPUTADOS. **Projeto de Lei**: –institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. 2018. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1703491. Acesso em: 14 jan. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **O bioma Cerrado**. 2020. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 10 fev. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Projeto Cerrado - Jalapão**. 2021. Disponível em: <http://cerradojalapao.mma.gov.br/mif>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto de 5 de junho de 2017**: amplia o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, localizado nos Municípios de Alto Paraíso de Goiás, Cavalcante, Nova Roma, Teresina de Goiás e São João da Aliança, Estado de Goiás. Brasília – DF, 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/dsn/dsn14471.htm. Acesso em: 14 fev. 2022.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**: dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 14 fev. 2022.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas Leis nºs 7.804, de 18 de julho de 1989, e 8.028, de 12 de abril de 1990:** dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm. Acesso em: 14 abr. 2022.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000:** regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 14 abr. 2022.

BUSTILLO SÁNCHEZ, M.; TONINI, M.; MAPELLI, A.; FIORUCCI, P. Spatial assessment of wildfires susceptibility in Santa Cruz (Bolivia) using random forest. **Geosciences**, v. 11, n. 5, p. 224, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/geosciences11050224>.

COSTA, W. S.; FONSECA, L. M. G.; KÖRTING, T. S. Mapping grasslands formations and cultivated pastures in the Brazilian Cerrado using data mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND APPLICATIONS, 2014. **Proceedings...** 2014. p. 138-141.

DANTAS, V.L.; BATALHA, M.A.; PAUSAS, J.G. Fire drives functional thresholds on the Savanna-forest transition. **Ecology**, n. 94, v. 11, p. 2454-2463, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/12-1629.1>.

DA SILVA, J. F.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; NEUMANN, M. R. B.; DE SOUZA, A. L. F. Land use/cover (LULC) mapping in Brazilian cerrado using neural network with sentinel-2 data. **Floresta**, v. 50, n. 3, p.1430-1438, 2020.

DE OLIVEIRA, M. T.; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; PRIETO, J. D.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E. Mapeamento da vegetação do Cerrado: uma revisão das iniciativas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 1250-1274, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56591>.

DUTRA, A. C.; CASSOL, H. L. G.; HOFFMANN, T. B.; GIROLAMO NETO, C. D.; BREUNIG, F. M.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E. **Coleta de dados em campo para estudos de mapeamento de área queimada no Cerrado utilizando sensores orbitais de média resolução espacial.** São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34R/43QARPH>.

EITEN, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cerrado**. Brasília – DF: Embrapa Cerrados, 2012. Disponível em: <https://www.cpac.embrapa.br/unidade/ocerrado/#:~:text=O%20clima%20dominante%20na%20regi%C3%A3o,de%201500%20%C2%B1%20500%20mm>. Acesso em: 10 jun. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Soja para o Cerrado**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355008/0/Folder+tecnologia+Soja/b7d86fc3-9754-4ad0-b9dc-1cff7191b199#:~:text=A%20primeira%20variedade%20de%20soja,ser%20cultivada%20em%20condi%C3%A7%C3%B5es%20brasileiras>. Acesso em: mar. 2022.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y. E. Spectral linear mixture modeling approaches for land cover mapping of tropical savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, n. 28, v. 2, p. 413-429, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431160500181507>.

FRANKE, J.; BARRADAS, A. C. S.; BORGES, M. A.; COSTA, M. M.; DIAS, P. A.; HOFFMANN, A. A.; SIEGERT, F. Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. **Remote Sensing of Environment**, v. 217, p. 221-232, 2018.

GIROLAMO NETO, C. D.; FONSECA, L. M. G.; VALERIANO, D. M.; NEVES, A. K.; KORTING, T. S. Desafios na classificação automática de fitofisionomias do Cerrado Brasileiro com base em mapas de referência na escala 1:250.000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017a, Santos -SP. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. v. 1. p. 6647-6654

HARGITA, Y.; GÜNTHER, S.; KÖTHKE, M. Brazil submitted the first REDD+ reference level to the UNFCCC—Implications regarding climate effectiveness and cost-efficiency. **Land Use Policy**, v. 55, p. 340-347, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.08.027>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Parna Chapada dos Veadeiros**. 2022b. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/parnachapadadosveadeiros/quem-somos/historia.html#:~:text=O%20Parque%20Nacional%20da%20Chapada,mil%20hectares%20de%20%C3%A1rea%20protegida>. Acesso em: 10 jun. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de manejo do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. 2009. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/pm_chapada_dos_veadeiros_2.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de manejo do Parque Nacional de Brasília**. 2016. 305p. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/PARNA%20Brasilia.pdf>. Acesso em: 16 maio 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. 2007. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/reviso_do_plano_operativo_pncv_2007.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Unidades de Conservação - Grupos**. 2022a. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/grupos>. Acesso em: 20 mar. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Documentação satélites**. 2021b. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat#:~:text=Esse%20programa%20foi%20inicialmente%20denominado,%2D1%20ou%20LANDSAT%2D1>. Acesso em: 10 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Grupo de monitoramento de queimadas**. 2022a. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/aq30m/#>. Acesso em: 20 jun. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Documentação satélites**. 2022c. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat#:~:text=Esse%20programa%20foi%20inicialmente%20denominado,%2D1%20ou%20LANDSAT%2D1>. Acesso em: 10 de fev. 2022

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Queimadas**. 2022b. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#p6>. Acesso em: 15 jan. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Relatório 01**. 2022. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/Projeto_MMA_GIZ/20140116_relatorio01_TdR_GIZ_Emiliano_Melchiori.pdf. Acesso em: 20 mai. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Terra Brasilis – DETER (Aviso)**. 2022a. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/alerts/biomes/cerrado/daily/>. Acesso em: 04 jun. 2022.

JACON, A. D.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R.; SANO, E. E. Seasonal characterization and discrimination of savannah physiognomies in Brazil using hyperspectral metrics from Hyperion/EO-1. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 15, p. 4494- 4516, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1320443>.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. **The normalized burn ratio, a Landsat TM radiometric index of burn severity incorporating multi-temporal differencing**. [S.l.]: US Geological Survey, 1999.

LAROSE, D. T.; LAROSE, C. D. **Discovering knowledge in data: an introduction to data mining**. 2.ed. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2014.

LIU, J.; MAEDA, E. E.; WANG, D.; HEISKANEN, J. Sensitivity of spectral indices on burned area detection using Landsat time series in Savannas of southern Burkina Faso. **Remote Sensing**, v. 13, n. 13, e2492, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13132492>.

MAPBIOMAS. **Infográficos Mapbiomas**. 2020a. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infograficos/Colecao5/MBI-Infografico-cerrado-5.0-BR.jpg>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MAPBIOMAS. **O projeto**. 2022b. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MAPBIOMAS. **Códigos de legenda**. 2022c. Disponível em: <https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MAPBIOMAS. **Método Mapbiomas fogo**. 2022d. Disponível em: <https://mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-fogo>. Acesso em: 10 abr. 2022.

MELO, P.; SPARACINO, J.; ARGIBAY, D.; SOUSA JÚNIOR, V.; BARROS, R.; ESPINDOLA, G. Assessing wildfire regimes in indigenous lands of the Brazilian Savannah-like Cerrado. **Fire**, v. 4, n. 3, p. 34, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fire4030034>.

MPAKAIRI, K. S.; KADZUNGE, S. L.; NDAIMANI, H. Testing the utility of the blue spectral region in burned area mapping: Insights from savanna wildfires. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, e100365, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100365>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **A Landsat timeline**. 2022b. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Moderate resolution imaging spectroradiometer**. 2022a. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>. Acesso em: 10 fev. 2022.

NEVES, A. K.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, v. 50, p. 170-182, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201900981>.

OLIVEIRA, U.; SOARES-FILHO, B.; BUSTAMANTE, M.; GOMES, L.; OMETTO, J. P.; RAJÃO. Determinants of fire impact in the Brazilian biomes. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 5, e735017, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.735017>.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrado of Brazil: ecology and natural history of a neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p.69-88.

PACHECO, A. D. P.; SILVA JUNIOR, J. A. D.; RUIZ-ARMENTEROS, A. M.; HENRIQUES, R. F. F. Assessment of k-nearest neighbor and random forest classifiers for mapping forest fire areas in central Portugal using Landsat-8, Sentinel-2, and Terra Imagery. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1345, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13071345>.

PEREIRA JÚNIOR, A. C.; OLIVEIRA, S. L.; PEREIRA, J. M.; TURKMAN, M. A. A. Modelling fire frequency in a Cerrado savanna protected area. **PloS One**, v. 9, n. 7, e102380, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102380>.

PEREIRA, A. A.; LIBONATI, R.; RODRIGUES, J. A.; NOGUEIRA, J.; SANTOS, F. L.; OOM, D.; PEREIRA, J. M. Multi-sensor, active fire-supervised, one-class burned area mapping in the Brazilian Savanna. **Remote Sensing**, v. 13, n. 19, p. 4005, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13194005>.

PHILOGENE, S.; NI-MEISTER, W. Relationship between fire events and land use changes in the State of São Paulo, Brazil. **Remote Sensing**, v. 13, n. 15, e2853, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13152853>.

BELGIU, M.; DRAGUT, L. Random forest in remote sensing: a review of applications and future directions. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 114, p. 24-31, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p.77-84, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100009>.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RATTER, J. A.; RICHARDS, P. W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D. R. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso: I. the woody

vegetation types of the Xavantina-Cachimbo Expedition area. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 266, n.880, p.449-492, 1973.

RIBEIRO, J. F.; SANO, S. M.; MACEDO, J.; DA SILVA, J. A. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos cerrados**. [S.l.]: Embrapa Cerrados, 1983.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília, Embrapa Cerrados, 1998. p.87-166.

RIBEIRO, L. S.. **História do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros: da sua criação à sua [re] ampliação em 2017**. 2020. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

RIZZINI, C. T.; HERINGER, E. P. **Preliminares acerca das formações vegetais e do reflorestamento no Brasil Central**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1962.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Washington: NASA, 1974.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007.

SANO, E. E.; ROSA, R.; SCARAMUZZA, C. A. D. M.; ADAMI, M.; BOLFE, E. L.; COUTINHO, A. C.; BAYMA-SILVA, G. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00138>.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical Savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 113–124, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>.

SANO, E. D.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO, A. F.; VASCONCELOS, J. S.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818-828, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>.

SANTOS, J. F. C.; ROMEIRO, J. M. N.; DE ASSIS, J. B.; TORRES, F. T. P.; GLERIANI, J. M. Potentials and limitations of remote fire monitoring in protected areas. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 1347-1355, 2018.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012). **Caderno de Geografia**, v. 24, n. 1, p. 133-142, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2014v24nespp133>.

SCARAMUZZA, C. A. de M.; SANO, E. E.; ADAMI, M.; BOLFE, E. L.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; MAURANO, L. E. P.; NARVAES, I. S.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; ROSA, R.; SILVA, E. B.; VALERIANO, D. M.; VICTORIA, D. C.; BAYMA, A. P.; OLIVEIRA, G. H.; GUSTAVO, B.-S. LAND-USE AND LAND-COVER MAPPING OF THE BRAZILIAN CERRADO BASED MAINLY ON LANDSAT-8 SATELLITE IMAGES. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44309>. Acesso em: 3 set. 2022.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991. Doi:10.1109/36.103288.

SILVA, C.; ALENCAR, A.; PONTES, A.; SHIMBO, J.; SILVA, W.; ELIAS, F. **The hidden emissions: how Amazon wildfires can boost Brazil's CO2 emissions**. [S.l.]: IPAM Amazônia. 2021.

SIMON, M. F.; GREYER, R.; QUEIROZ, L. P.; SKEMA, C.; PENNINGTON, R. T.; HUGUES, C. E. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2787167/>. Acesso em: 03 fev. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG). **Lapig** – chaves de identificação. Mapbiomas. 2022. Disponível em: <https://chave.lapig.iesa.ufg.br/pt/>. Acesso em: 25 maio 2022.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat satellites**. 2022c. Disponível em: https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products. Acesso em: 10 mar. 2022.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **MCD64A1v006**. 2022a. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mcd64a1v006/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **MOD14v006**. 2022b. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod14v006/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

VIU, M. D. O.; MUNIZ, L.; TROVO, J. D. F.; MAGNABOSCO, C. D. U.; MARTHA JÚNIOR, G. B. **Panorama da pecuária de corte no bioma Cerrado**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007.

WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas**. São Paulo, EPU, 1986, 325p.

ZONATTA, D.C.; FERREIRA, M.P.; ZOTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

APÊNDICE A

A seguir serão apresentadas as tabelas com o compilado das classes de uso e cobertura da terra.

Tabela A.1 - Comparativo de área queimada (em ha) – PNB.

	Classificador			Mapbiomas			MCD64			INPE			Focos		
Ano	Parque	Buffer	Total	Parque	Buffer	Total	Parque	Buffer	Total	Parque INPE	Buffer INPE	Total INPE	Parque	Buffer	Total
2000	2159,5	8858,2	11017,6	1801,5	5212,4	7013,9									
2001	1368,8	9841,8	11210,6	2273,5	6530,6	8804,1	1875,0	2725,0	4600,0				20,0	29,0	49,0
2002	2434,0	9335,1	11769,1	1148,5	8538,7	9687,2	625,0	4750,0	5375,0				8,0	51,0	59,0
2003	1659,7	15866,6	17526,3	426,7	2327,8	2754,5	750,0	2850,0	3600,0				11,0	40,0	51,0
2004	3214,6	18312,5	21527,1	2080,3	9300,5	11380,8	3500,0	6100,0	9600,0				19,0	60,0	79,0
2005	1637,7	20166,0	21803,7	443,9	2004,3	2448,2	100,0	675,0	775,0				2,0	15,0	17,0
2006	899,6	12737,7	13637,3	248,9	3166,0	3414,9	625,0	1025,0	1650,0				7,0	27,0	34,0
2007	11969,3	19068,0	31037,3	11593,2	9181,8	20775,0	11800,0	11225,0	23025,0				87,0	94,0	181,0
2008	1679,2	11695,2	13374,4	173,4	2148,0	2321,4	1075,0	2025,0	3100,0				17,0	37,0	54,0
2009	641,6	4175,6	4817,2	82,6	994,9	1077,4	50,0	750,0	800,0				5,0	11,0	16,0
2010	17956,3	25388,8	43345,1	18210,1	19168,0	37378,1	19875,0	17800,0	37675,0				165,0	166,0	331,0
2011	843,8	11815,9	12659,7	439,0	4338,0	4777,1	0,0	4575,0	4575,0	375,9	7972,2	8348,1	7,0	60,0	67,0
2013	190,8	9840,2	10031,0	56,9	3274,3	3331,2	0,0	2025,0	2025,0	78,5	6037,9	6116,4	2,0	16,0	18,0
2014	2414,3	18853,8	21268,1	2323,4	12539,4	14862,9	2075,0	10975,0	13050,0	2440,0	18024,5	20464,5	20,0	94,0	114,0
2015	404,3	8848,6	9252,9	256,2	3147,1	3403,4	175,0	2325,0	2500,0	132,7	2568,5	2701,2	2,0	22,0	24,0
2016	1417,1	9026,6	10443,7	1612,1	6823,7	8435,8	1150,0	5100,0	6250,0	983,6	11561,7	12545,3	17,0	77,0	94,0
2017	5184,4	10251,2	15435,6	4918,9	6146,9	11065,8	6450,0	4975,0	11425,0	3545,5	5961,3	9506,8	44,0	64,0	108,0
2018	1853,2	15568,8	17422,0	627,1	3830,9	4458,0	100,0	1550,0	1650,0	265,0	4842,8	5107,8	1,0	18,0	19,0
2019	2030,1	15002,0	17032,1	1962,9	8700,8	10663,7	1798,0	9337,0	11135,0	1884,6	12527,4	14412,0	27,0	179,0	206,0
2020	2028,3	7555,2	9583,5	2422,4	3766,9	6189,3	921,0	3486,0	4407,0				28,0	103,0	131,0

Fonte: Produção da autora.

Tabela A.2 - Comparativo de área queimada (em ha) – PNCV.

Ano	Classificador			Mapbiomas			MCD64			INPE			Focos		
	Parque Class	Buffer Class	Total Class	Parque Mapb	Buffer Mapb	Total Mapb	Parque MCD64	Buffer MCD64	Total MCD64	Parque INPE*	Buffer INPE*	Total INPE	Parque Focos	Buffer Focos	Total Focos
2000	65118,1	46788,0	111906,1	19347,8	11706,1	31053,9									
2001	18746,7	27623,7	46370,4	10946,5	17068,1	28014,6	11200,0	16875,0	28075,0	3560,3	3310,7	6871,0	51,0	77,0	128,0
2002	20998,75	16953,53	37952,29	30045,2	20795,9	50841,1	63025,0	39600,0	102625,0	2,6	81,0	83,7	158,0	178,0	336,0
2003	24247,2	17724,4	41971,6	16691,4	6189,3	22880,7	59000,0	18150,0	77150,0	1072,8	1783,9	2856,7	216,0	93,0	309,0
2004	49828,3	31279,4	81107,7	38943,5	19950,0	58893,5	58425,0	57550,0	115975,0	7400,8	6627,8	14028,6	155,0	270,0	425,0
2005	31515,4	30040,7	61556,1	19167,5	15935,2	35102,6	31600,0	27750,0	59350,0	3833,0	6115,1	9948,1	129,0	110,0	239,0
2006	38218,3	19107,3	57325,6	27025,9	9455,8	36481,6	49000,0	20175,0	69175,0	2293,4	4703,3	6996,7	136,0	126,0	262,0
2007	80184,9	76474,2	156659,1	65830,3	47245,2	113075,5	117125,0	96325,0	213450,0	8421,4	18471,2	26892,5	505,0	433,0	938,0
2008	25528,0	22550,2	48078,2	14566,7	5445,5	20012,2	23725,0	10075,0	33800,0	1843,9	2914,3	4758,2	53,0	59,0	112,0
2009	16356,2	6919,0	23275,1	8621,6	698,3	9319,9	14700,0	5125,0	19825,0	1024,4	1735,9	2760,4	37,0	30,0	67,0
2010	85365,0	60377,4	145742,4	65054,6	35859,7	100914,3	100950,0	78800,0	179750,0	5429,6	14735,7	20165,4	375,0	370,0	745,0
2011	30328,4	25564,2	55892,6	13489,1	11770,9	25259,9	31200,0	36675,0	67875,0	21415,5	21997,4	43412,9	90,0	190,0	280,0
2013	13378,7	4264,8	17643,5	12399,4	2810,9	15210,4	13425,0	2725,0	16150,0	11020,5	3395,3	14415,7	40,0	26,0	66,0
2014	46521,4	23651,3	70172,6	57432,1	26875,8	84307,9	59525,0	29550,0	89075,0	46245,9	31640,8	77886,7	178,0	136,0	314,0
2015	43184,1	33013,3	76197,4	38473,9	20627,3	59101,2	52925,0	33775,0	86700,0	25467,9	18275,3	43743,3	219,0	195,0	414,0
2016	35612,9	18083,5	53696,5	29338,1	10080,2	39418,2	37475,0	15075,0	52550,0	646,5	665,3	1311,8	101,0	83,0	184,0
2017	20310,2	23158,9	43469,1	16379,7	19017,0	35396,8	71050,0	41600,0	112650,0	9383,6	26010,5	35394,1	307,0	232,0	539,0
2018	13537,0	26938,0	40475,0	10112,3	2983,4	13095,7	4550,0	325,0	4875,0	4476,5	1746,0	6222,4	23,0	20,0	43,0
2019	30598,1	62322,8	92920,9	19655,5	34666,2	54321,7	28256,0	47399,0	75655,0	17670,4	28927,2	46597,6	164,0	339,0	503,0
2020	19160,8	27554,2	46715,1	18050,1	16802,1	34852,2	24742,0	26861,0	51603,0				249,0	302,0	551,0

Fonte: Produção da autora.

Tabela A.3 - Classes de uso e cobertura da terra e recorrência (em ha) – PNB.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Formação Florestal	12930,9	2982,0	1156,6	510,0	216,2	98,5	27,8	7,3	3,9	1,5	0,4	0,4	-	0,1	-	-	0,1	-	-	-	-
Formação Savânica	11359,2	14109,6	7409,1	4189,1	2465,2	1707,6	1043,4	585,0	343,2	235,8	148,9	74,6	30,7	12,0	6,8	5,6	1,6	1,5	0,4	0,2	-
Silvicultura	30,9	74,4	69,0	44,5	23,2	5,3	2,8	2,1	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campo Alagado e Área Pantanosa	789,2	334,4	190,9	127,5	45,1	39,5	26,2	12,5	4,6	3,9	0,8	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	-	0,2	-	-	-
Formação Campestre	2478,5	7403,7	6975,2	3801,5	2567,0	1872,4	1294,9	906,3	692,4	484,6	341,0	189,1	124,2	112,9	59,6	49,0	30,4	26,7	7,0	1,3	-
Pastagem	8622,2	6988,6	5339,5	3649,2	2312,5	1573,0	1026,8	640,1	417,1	295,9	178,5	109,0	79,7	42,6	28,7	16,0	5,4	1,7	0,2	0,2	-
Mosaico de Agricultura e Pastagem	8861,9	4915,2	3153,2	2303,2	1880,5	1205,9	803,1	553,1	340,2	252,2	162,3	101,7	41,7	27,7	19,6	16,6	15,0	11,4	5,3	1,5	-
Área Urbanizada	22728,5	851,3	728,4	622,5	546,9	518,9	513,6	414,3	287,7	206,1	144,2	100,9	71,0	52,8	35,1	28,3	16,9	8,3	4,6	0,5	0,1
Outras Áreas não vegetadas	474,1	226,3	177,0	131,3	107,5	96,5	76,7	58,1	47,8	40,7	22,0	12,9	8,0	4,0	2,0	0,6	0,1	-	-	-	-
Mineração	17,3	1,6	6,1	7,3	13,4	20,8	25,5	25,9	17,1	20,0	10,3	13,9	7,4	4,1	2,9	3,1	2,6	3,1	5,3	1,8	0,5
Rio, Lago e Oceano	2228,3	8,4	7,1	9,1	5,6	4,7	4,4	5,2	3,4	2,6	2,1	1,5	2,1	1,9	2,8	4,0	1,9	1,6	0,2	0,1	-
Soja	108,2	169,9	145,2	102,6	84,4	59,1	27,0	11,4	12,1	12,1	2,6	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras Lavouras Temporárias	17,3	32,1	25,9	26,9	26,2	26,5	21,4	9,6	7,5	4,0	4,3	3,5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Café	53,8	4,3	1,7	0,3	0,3	2,3	1,0	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Produção da autora.

Tabela A.4 - Classes de uso e cobertura da terra e recorrência (em ha) – PNCV.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Formação Florestal	401024,3	134625,8	51355,1	23727,7	9829,0	4071,3	1778,7	631,9	206,0	75,5	14,8	5,2	0,9	-	-	-	-	-	-
Formação Savânica	815770,6	635861,9	479207,4	385441,1	272798,6	177625,5	105057,0	54731,2	24045,0	10577,5	4361,7	1650,4	535,5	61,6	0,9	-	-	-	-
Silvicultura	6302,2	5742,5	2369,9	357,3	101,5	22,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campo Alagado e Área Pantanosa	7647,5	6576,7	7915,3	10650,1	10424,5	9751,4	7497,3	4763,7	2225,2	696,4	170,1	23,4	-	-	-	-	-	-	-
Formação Campestre	104527,7	158943,1	199189,7	255330,2	247042,2	199948,4	156256,3	96223,8	59399,9	32792,8	14663,0	5351,5	1602,6	461,0	70,4	19,1	5,2	-	-
Pastagem	169455,2	178471,0	121077,4	72810,3	42966,3	24348,5	14247,0	8243,4	4375,9	2162,2	922,7	436,6	183,1	49,5	33,8	24,3	14,8	3,5	-
Mosaico de Agricultura e Pastagem	36864,6	40446,7	28559,7	17568,0	8788,8	4427,2	2325,4	1389,1	771,0	314,3	111,9	33,1	15,6	16,5	18,2	2,6	-	-	-
Área Urbanizada	1583,8	1737,1	1757,4	1072,0	684,7	377,4	189,2	73,0	13,9	4,3	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras Áreas não Vegetadas	1649,6	1416,6	1260,2	1002,9	714,3	636,2	362,8	203,2	221,4	268,1	279,5	213,5	169,2	144,8	128,3	117,1	135,4	81,6	13,0
Rio, Lago e Oceano	626,4	215,5	151,9	106,8	98,1	84,2	90,3	76,4	82,5	52,1	61,7	53,9	50,4	26,1	18,3	6,1	2,6	-	-
Soja	14400,9	19219,6	13402,8	9654,5	6255,3	2489,5	520,1	108,4	40,8	47,7	24,3	32,1	24,3	15,6	-	-	-	-	-
Outras Lavouras Temporárias	1538,2	2256,2	1631,6	1151,1	749,2	485,6	164,0	120,6	46,0	45,2	25,2	6,1	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Produção da autora.

