



Quantificação do grau de severidade de queimadas em uma área de proteção ambiental do Mato Grosso/Brasil

Quantification of the severity of fires in an environmental protection area in Mato Grosso/Brazil

Cuantificación del grado de severidad de los incendios en un área de protección ambiental de Mato Grosso/Brasil

1. Warley Lemes Gonçalves  <https://orcid.org/0000-0001-5272-2636>

1. Universidade Estadual de Goiás  Cidade de Goiás, Goiás, Brasil

2. Patrick Thomaz de Aquino Martins  <https://orcid.org/0000-0003-3814-3982>

2. Universidade Estadual de Goiás  Cidade de Goiás, Goiás, Brasil

Autor de correspondência: warley.goncalves.prof@gmail.com

RESUMO

O Cerrado é também classificado como um piromioma, ou seja, um bioma adaptado ao fogo natural. Nos últimos anos, pesquisas sobre o uso do fogo no Cerrado têm crescido significativamente na comunidade acadêmica. Em 2020, uma queimada de origem antrópica desconhecida ocorreu na Área de Proteção Ambiental Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC), com duração estimada de mais de 15 dias. Com isso, foi proposta a classificação e quantificação da severidade das queimadas na Unidade de Conservação APACRC, utilizando o índice espectral NBR (Normalized Burn Ratio) e suas variações. Para realizar a análise, foram obtidas imagens de satélite de antes do fogo (5 de setembro de 2020) e durante/depois do fogo (18 de setembro de 2020). O índice NBR foi calculado para os períodos pré e pós-fogo, com o objetivo de identificar o grau de severidade das queimadas. No total, 18.870,57 hectares foram impactados pelo fogo, dos quais 87,51% eram de formação savânica, 11,78% florestal e 0,71% campestre. A análise do índice dNBR revelou que, apesar de contribuir para o avanço das queimadas, a maioria das áreas foi afetada com baixa severidade, sugerindo que os danos à regeneração podem não ser tão graves nesta situação.

Palavras-chave: Cerrado; Piromioma; NBR (Normalized Burn Ratio); Índices Espectrais.

ABSTRACT

The Cerrado (Brazilian Savanna), in addition to being the second-largest biome in Brazil, is also classified as a pyro-biome, which means a biome adapted to natural fire. In recent years, research on the use of fire in the Cerrado has grown significantly in the academic community. In September 2020, a fire of unknown anthropogenic origin occurred in the Environmental Protection Area of the Headwaters Cuiabá River (APACRC), with an estimated duration of more than 15 days. Due to the extent and regularity of the affected area, predominantly of savanna formation, this event sparked great interest for investigation. As a result, it was proposed to classify and quantify the severity of the fires in the APACRC Conservation Unit using the NBR (Normalized Burn Ratio) spectral index and its variations. To conduct the analysis, satellite images were obtained from before the fire (September 5, 2020) and during/after the fire (September 18, 2020). The NBR index was

calculated for the pre- and post-fire periods to identify the degree of fire severity. In total, 18,870.57 hectares were impacted by the fire, of which 87.51% were of savanna formation, 11.78% forest, and 0.71% grassland. The analysis of the dNBR index revealed that, although contributing to the spread of the fires, most areas were affected with low severity, suggesting that regeneration damage may not be as severe in this situation.

Keywords: Cerrado (Brazilian Savanna); Pirobiome; NBR (Normalized Burn Ratio); Spectral Index.

RESUMEN

El Cerrado también se clasifica como un pirobioma, es decir, un bioma adaptado al fuego natural. En los últimos años, las investigaciones sobre el uso del fuego en el Cerrado han crecido significativamente en la comunidad académica. En 2020, un incendio de origen antrópico desconocido ocurrió en el Área de Protección Ambiental Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC), con una duración estimada de más de 15 días. Con esto, se propuso la clasificación y cuantificación de la severidad de los incendios en la Unidad de Conservación APACRC, utilizando el índice espectral NBR (Normalized Burn Ratio) y sus variaciones. Para realizar el análisis, se obtuvieron imágenes de satélite de antes del fuego (5 de septiembre de 2020) y durante/después del fuego (18 de septiembre de 2020). El índice NBR fue calculado para los períodos pre y post-fuego, con el objetivo de identificar el grado de severidad de los incendios. En total, 18.870,57 hectáreas fueron impactadas por el fuego, de las cuales 87,51% eran de formación sabánica, 11,78% forestal y 0,71% campestre. El análisis del índice dNBR reveló que, a pesar de contribuir al avance de los incendios, la mayoría de las áreas fue afectada con baja severidad, sugiriendo que los daños a la regeneración pueden no ser tan graves en esta situación.

Palabras-clave: Cerrado; Pirobioma; NBR (Normalized Burn Ratio); Índices Espectrales.

Introdução

O Cerrado é reconhecido como o segundo maior bioma do Brasil. A denominação tem sido utilizada para descrever este complexo ecossistema desde o século XIX, referindo-se aos seus extensos campos e savanas, conforme exposto por Eiten (1990). Além disso, o Cerrado é ecológica e fisionomicamente relacionado às savanas e arvoredos mais úmidos e distróficos com chuvas concentradas no verão.

Outro autor, Coutinho (2006), propôs caracterizar o bioma Cerrado com base em sua diversidade fitofisionômica. Ele explica que o termo "fitofisionomia" surgiu simultaneamente ao uso do termo "formação", referindo-se à característica morfológica da comunidade vegetal que confere uniformidade ao sistema. Seguindo essa linha de raciocínio, Ribeiro e Walter (2008) também descreveram o bioma Cerrado em termos de grandes formações vegetacionais que se distinguem por diferentes fitofisionomias.

A presença do fogo no Cerrado pode impactar significativamente a biodiversidade da região (Teobaldo e Baptista, 2016). Esse fenômeno pode gerar efeitos tanto negativos quanto positivos na diversidade fitofisionômica do bioma (Klink e

Machado, 2005; Coutinho, 2006; Ribeiro e Walter, 2008). Isso ocorre porque a eficiência da rebrota está diretamente relacionada à alta taxa de composição florística herbácea.

Coutinho (2006) descreve o Cerrado como um pirobioma, onde o fogo natural desempenha um papel co-determinante. Nesse contexto, a vegetação savânica específica do bioma é adaptada ao fogo.

Pesquisas sobre o uso do fogo no Cerrado estão em constante crescimento na comunidade acadêmica. Grande parte desses estudos refere-se às práticas e conhecimentos tradicionais das comunidades indígenas, como os Xavante, que utilizam o fogo para caça e produção (Melo e Saito, 2011). Além disso, o fogo é empregado no manejo de monoculturas (Leonel, 2000) e na proteção de terras (Falleiro, 2011).

Também existem contribuições significativas que oferecem diretrizes para o manejo do fogo visando à preservação do Cerrado. Alguns estudos fornecem orientações sobre como realizar esse manejo adequadamente (Fidelis e Pivello, 2011; Medeiros, 2002; Schmidt, 2016), enquanto outros destacam os malefícios das queimadas descontroladas para o bioma (Bertier, Silva e Dalla Nora, 2020; Moura, 2018) e seus impactos negativos sobre a fauna (Rabelo, 2021).

Para quantificar a severidade de queimadas, é possível utilizar índices espectrais específicos por meio do sensoriamento remoto. Um dos índices mais utilizados é o dNBR (Delta Normalized Burn Ratio), desenvolvido por Key e Benson (2006), que identifica áreas afetadas pelo fogo e as classifica em categorias como alta rebrota aprimorada, baixa rebrota aprimorada, área não queimada, baixa severidade, severidade moderada-baixa, severidade moderada-alta e alta severidade. Além do dNBR, o dNDVI (Delta Normalized Difference Vegetation Index) também é mencionado na literatura para esse propósito, como exemplificado por Leal (2019), apesar de seu uso principal ser a avaliação da saúde e densidade da vegetação.

Em setembro de 2020, ocorreu uma queimada de origem antrópica desconhecida na Área de Proteção Ambiental Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC). Segundo dados do MapBiomas (2020) e do INPE (2020), estima-se que o incêndio tenha durado mais de 15 dias. Devido à duração prolongada, à regularidade da área afetada e

à predominância da formação savânica, a situação despertou interesse para investigação.

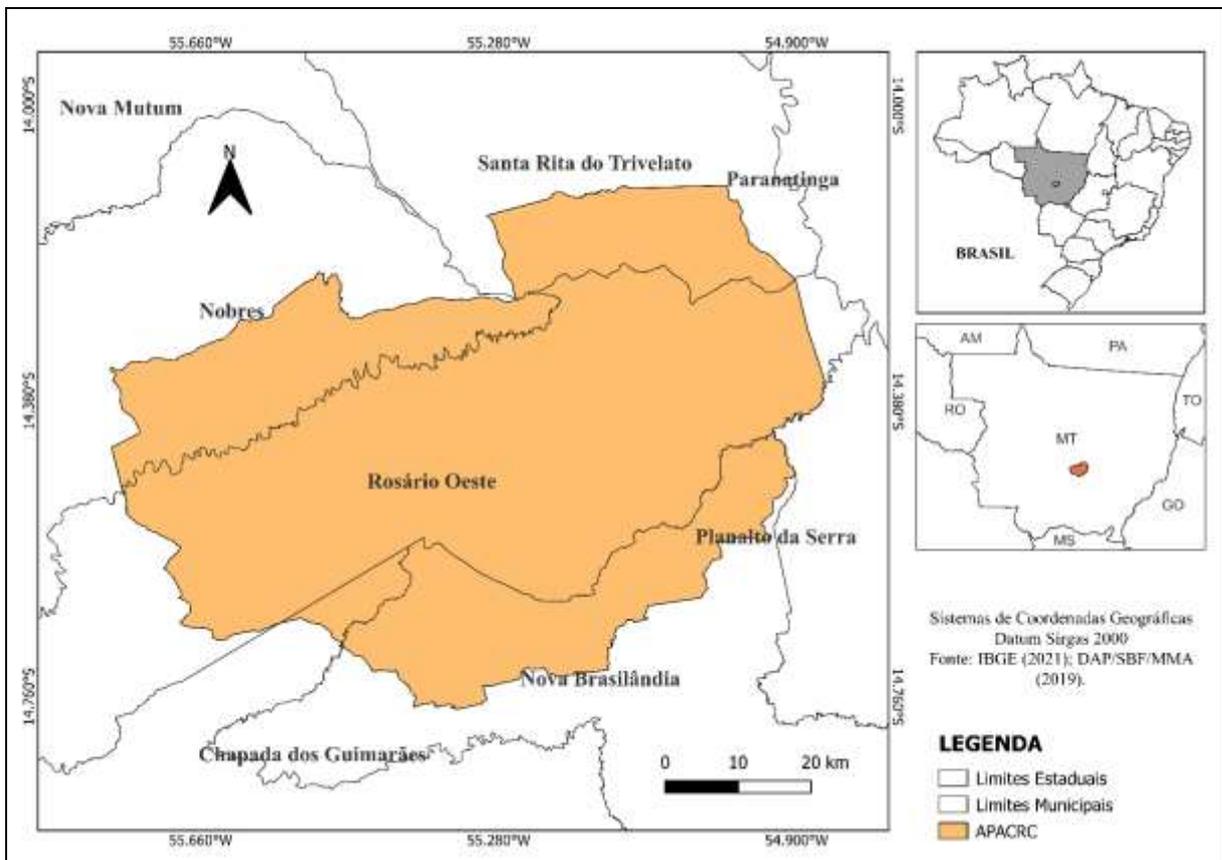
Diante disso, propõe-se classificar e quantificar a severidade das queimadas na Unidade de Conservação APACRC utilizando o índice espectral NBR e suas variações. Os objetivos específicos são: i) Identificar a área queimada na Unidade de Conservação da APACRC; ii) Quantificar o grau de severidade das queimadas por meio de sensoriamento remoto, utilizando o índice de vegetação NBR e suas variações; iii) Classificar a severidade das queimadas nas diferentes formações vegetacionais do Cerrado na APACRC; e iv) Correlacionar o dNBR com o dNDVI para avaliar os impactos nos componentes savânicos do Cerrado.

Material e Métodos

A Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC) abrange uma área de 473.411 hectares e se estende pelos municípios de Chapada dos Guimarães, Nova Brasilândia, Nobres, Planalto da Serra, Rosário Oeste e Santa Rita do Trivelato, no estado de Mato Grosso (Figura 1). Essa unidade de conservação, criada em 1999 e administrada pelo estado de Mato Grosso, é classificada como uma unidade de uso sustentável. De acordo com a plataforma Unidades de Conservação no Brasil (2022), a APACRC é composta por 6,71% de Savana-Floresta Estacional, 54,11% de Savana-Formações Pioneiras, e 39,18% de Savana.

Para analisar a área queimada, foram obtidas imagens de satélite antes do fogo (datadas de 5 de setembro de 2020) e durante/depois do fogo (datadas de 18 de setembro de 2020). A seleção das imagens baseou-se no tipo de uso da unidade de conservação e na ocorrência da queimada em 2020. As cenas foram capturadas pelo satélite Landsat 8 e disponibilizadas pelo USGS através do site earthexplorer.usgs.gov. Para processar os índices espectrais, utilizou-se o *software* QGIS 3.22.10 *Białowieża*. Estima-se que a queima tenha iniciado após o dia 5 de setembro de 2020 e durado aproximadamente 15 dias.

Figura 1 – Localização da Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC).



Fonte: Autores (2024).

Com o objetivo de identificar o grau de severidade das queimadas, foi calculado o índice NBR (*Normalized Burn Ratio*) para os períodos pré e pós-fogo, utilizando a fórmula:

$$NBR = (BInfProx - BInfMed) / (BInfProx + BInfMed) \times 1000$$

Onde:

BInfProx = reflectância relativa à banda do infravermelho próximo

BInfMed = reflectância relativa à banda do infravermelho médio

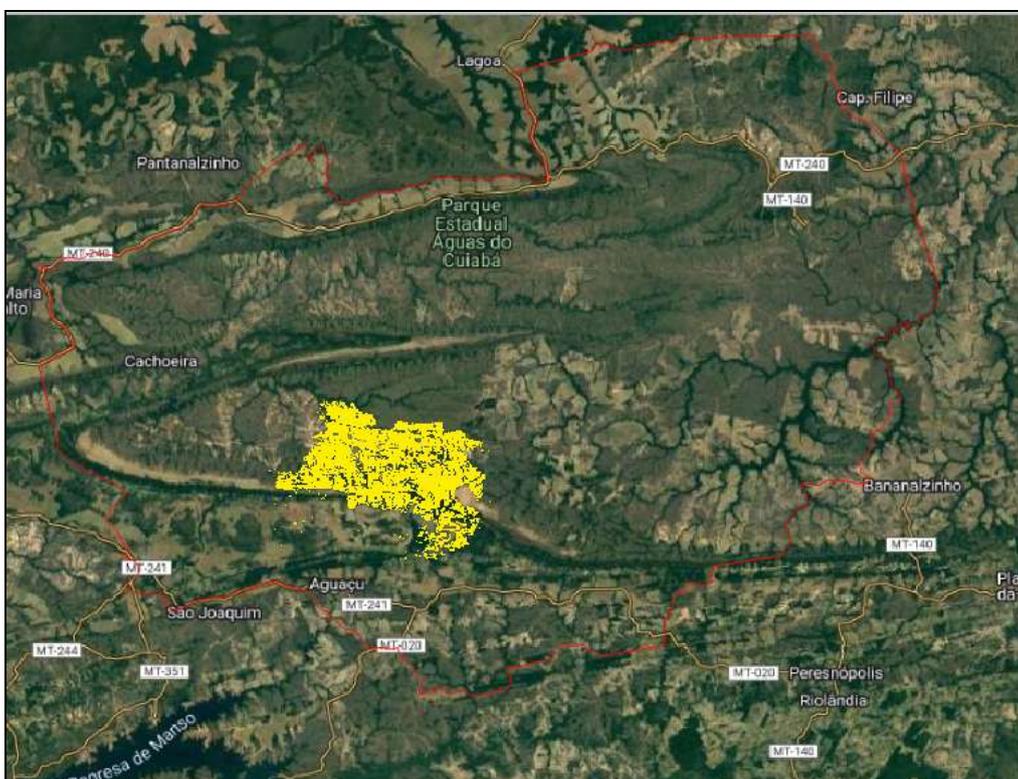
Para determinar a severidade, o índice NBR foi convertido em dNBR (*Delta Normalized Burn Ratio*) pela fórmula:

$$dNBR = NBR_{pré-fogo} - NBR_{pós-fogo}$$

Enquanto o NBR identifica a área queimada e sua intensidade, o dNBR compara a classificação dos pixels antes e depois do fogo, promovendo maior precisão nos resultados (Miller e Thode, 2007).

Os resultados mostraram que áreas com dNBR igual ou superior a 56 foram consideradas queimadas (Figura 2). A escala de severidade pode ser vista no Quadro 1. A amplitude e o número de classes dependem do usuário, permitindo a localização de áreas queimadas que podem não ser detectadas visualmente.

Figura 2 – Área afetada pela queima (em amarelo), setembro (2020).



Fonte: Autores (2024).

Segundo Key e Benson (2006), a definição das classes varia de baixa a alta severidade, com implicações para a regeneração ambiental, incluindo morte de vegetação, perda de nutrientes e danos ao solo.

Quadro 1 – Escala de níveis de severidade do dNBR.

Nível de Severidade	Legenda e Código Hexadecimal	Extensão	Código da Classificação
Alta rebrota	#1F8F09	-500 a -250	1
Baixa rebrota	#10B418	-250 a -100	2
Não queimada	#08FF0C	-100 a 56	3
-	#FFFFFF	0	-
Baixa severidade (BS)	#FEFA03	56 a 270	4
Severidade moderada baixa (SMB)	#A72D39	270 a 440	5
Severidade moderada alta (SMA)	#C90003	440 a 660	6
Alta severidade (AS)	#FF0505	660 a 1300	7

Fonte: Adaptado de Key e Benson (2006).

Adicionalmente, a severidade foi quantificada utilizando o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), conforme Leal (2019), para correlacionar sua eficácia na aplicação da severidade das queimadas. O NDVI foi calculado por:

$$NDVI = (R5 - R4)/(R5 + R4)$$

Onde:

R5 = reflectância relativa à banda 5 do Landsat 8

R4 = reflectância relativa à banda 4 do Landsat 8

A análise utilizou o dNDVI (Delta NDVI), determinado por:

$$dNDVI = NDVI_{pré-fogo} - NDVI_{pós-fogo}$$

As classes dNBR, como ANQ (Área Não Queimada), BS (Baixa Severidade), SMB (Severidade Moderada Baixa), SMA (Severidade Moderada Alta) e AS (Alta Severidade),

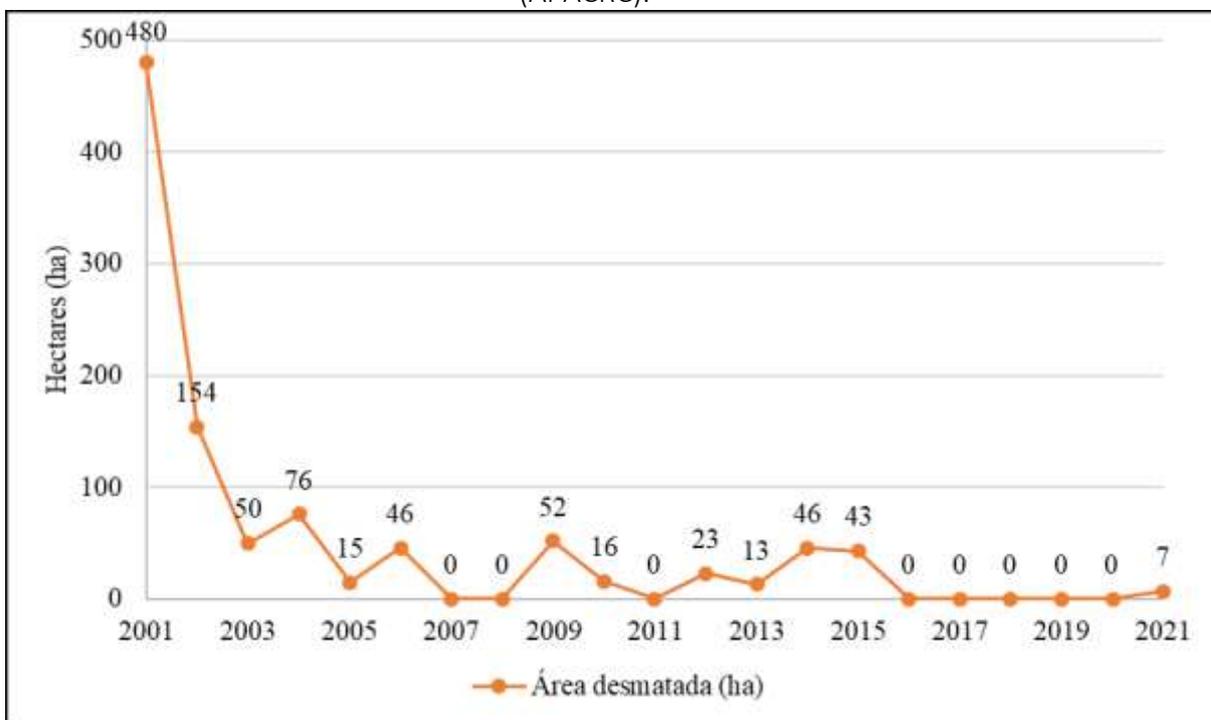
foram extraídas e comparadas com dNDVI. Os dados dos pixels foram exportados para um arquivo .xls para análise estatística.

Com base em 200 amostras aleatórias, a eficácia dos dados de severidade do dNDVI foi comparada ao dNBR usando o *software* BioEstat 5.3. A análise estatística, utilizando ANOVA a um critério e o teste de Tukey a 5%, indicou que a correlação do dNDVI sobre o dNBR é significativa e representativa.

Resultados e discussão

De acordo com o portal Unidades de Conservação no Brasil (2022), as principais ameaças à Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC) são o desmatamento (Figura 3) e os focos de calor (Figura 4). Além disso, a APACRC compartilha espaço com a Estação Ecológica Águas do Cuiabá, que ocupa 2,46% da área total.

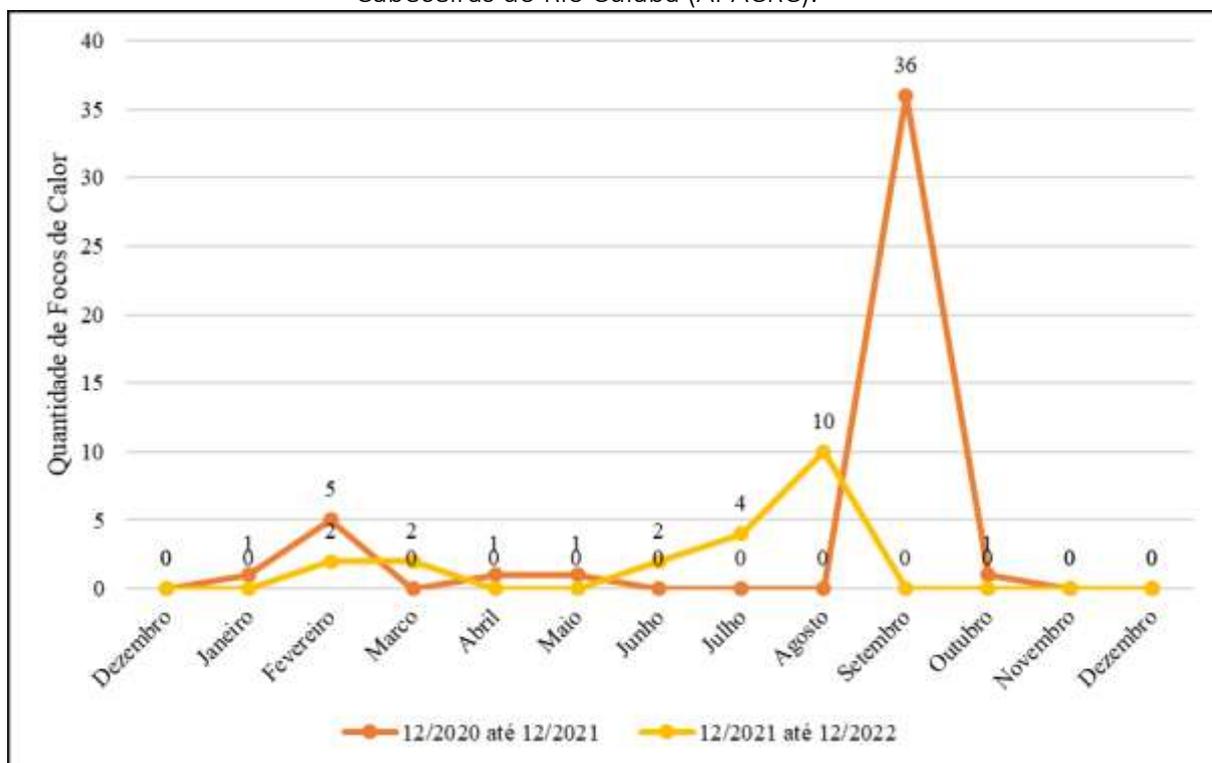
Figura 3 – Área desmatada da Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC).



Fonte: INPE (2022).

A visita à APA revela que áreas desmatadas foram convertidas para a produção de proteína animal, monoculturas e mineração. No entanto, ainda é possível encontrar regiões que não parecem ter sido invadidas pelo homem. Conforme o gráfico da Figura 3, o desmatamento atingiu seu pico em 2001, dois anos após a criação da APA, seguido por um declínio nos anos seguintes. Entre 2001 e 2021, foram desmatados 1.021 hectares, representando 21,58% da área total.

Figura 4 – Focos de calor de 12/2020 a 12/2022 da Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC).

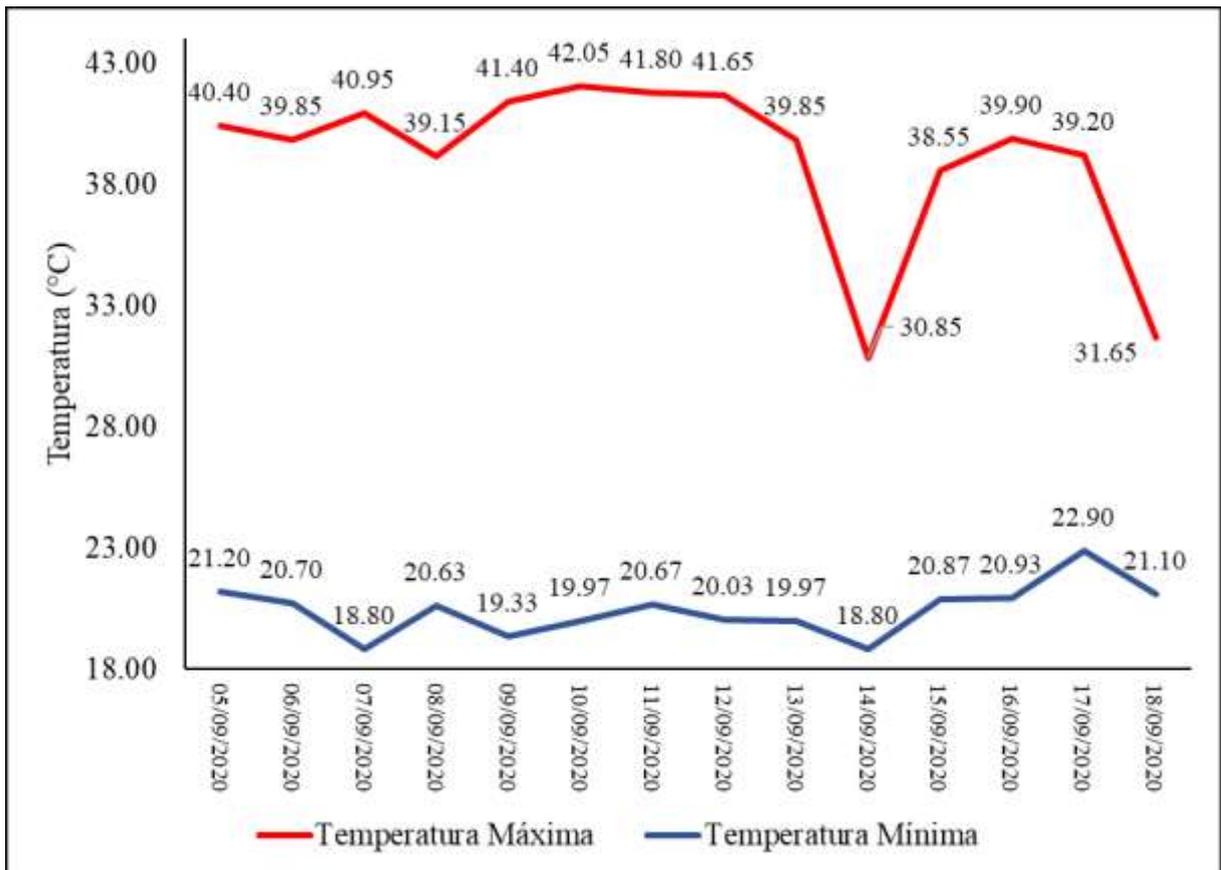


Fonte: INPE (2022).

Poucos focos de queimadas foram registrados em 05/09/2020, mas em 18/09/2020, uma quantidade significativa de cicatrizes de incêndios foi observada. O incêndio estudado ocorreu em setembro de 2020, de origem antrópica desconhecida. Dados do MapBiomas (2020) e do INPE (2022) indicam que o incêndio durou mais de 15 dias. Considerando a sazonalidade climática do Cerrado, esse período do ano favoreceu a propagação do fogo e a devastação da área afetada.

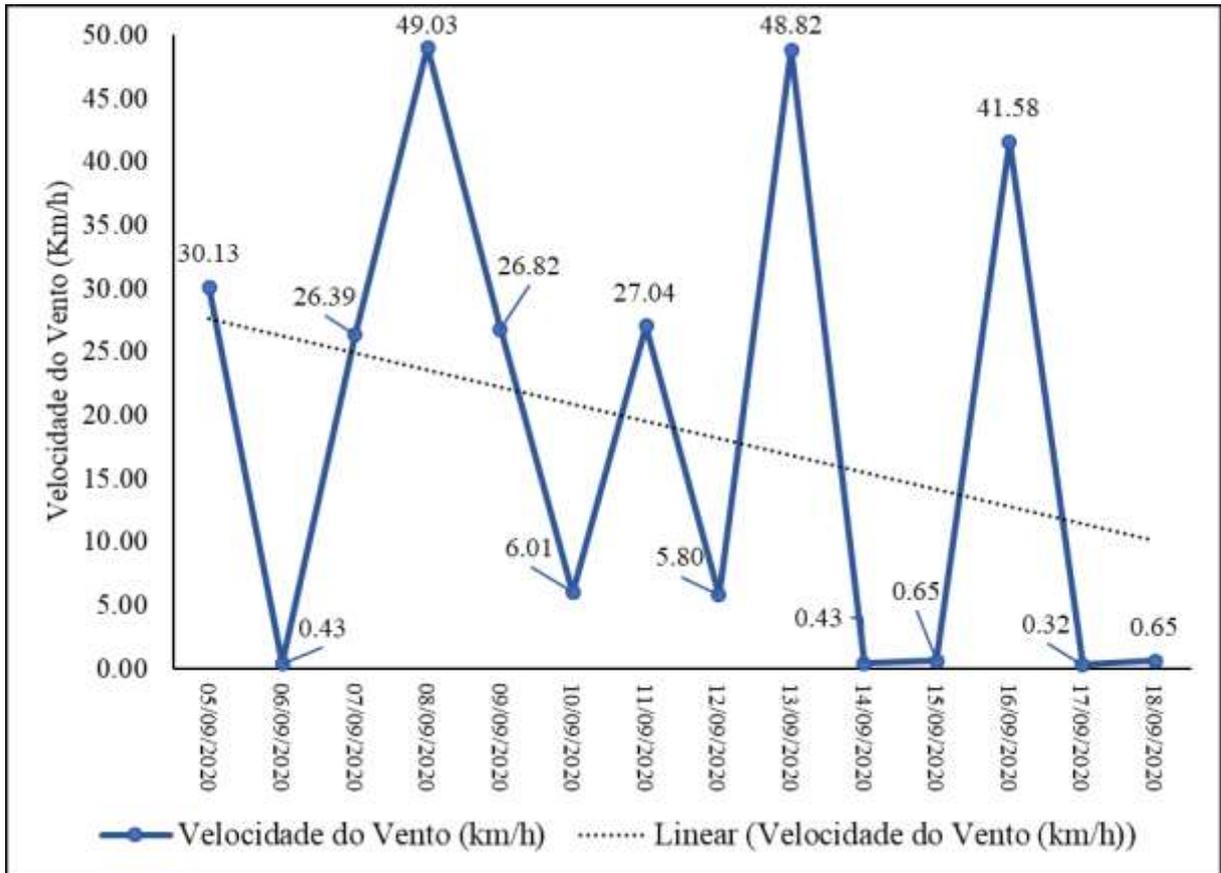
Vários fatores influenciam a duração de um incêndio, sendo o clima um dos mais relevantes. Altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar podem favorecer a persistência do fogo. Além disso, a velocidade do vento contribuiu para a expansão das chamas (Gonçalves, 2021). As figuras 5 e 6 apresentam dados climáticos relevantes.

Figura 5 – Temperatura máxima e mínima da área queimada de 05/09 a 18/09/2020.



Fonte: INMET (2023).

Figura 6 – Velocidade do vento da área queimada de 05/09 a 18/09/2020.



Fonte: INMET (2023).

Na APACRC, foi identificado que o fogo atingiu cerca de 5% da área total, com 4,88% sofrendo baixa severidade de queima, 0,03% moderada baixa, e 0,02% moderada alta e alta severidade. Detalhes adicionais estão na Tabela 1.

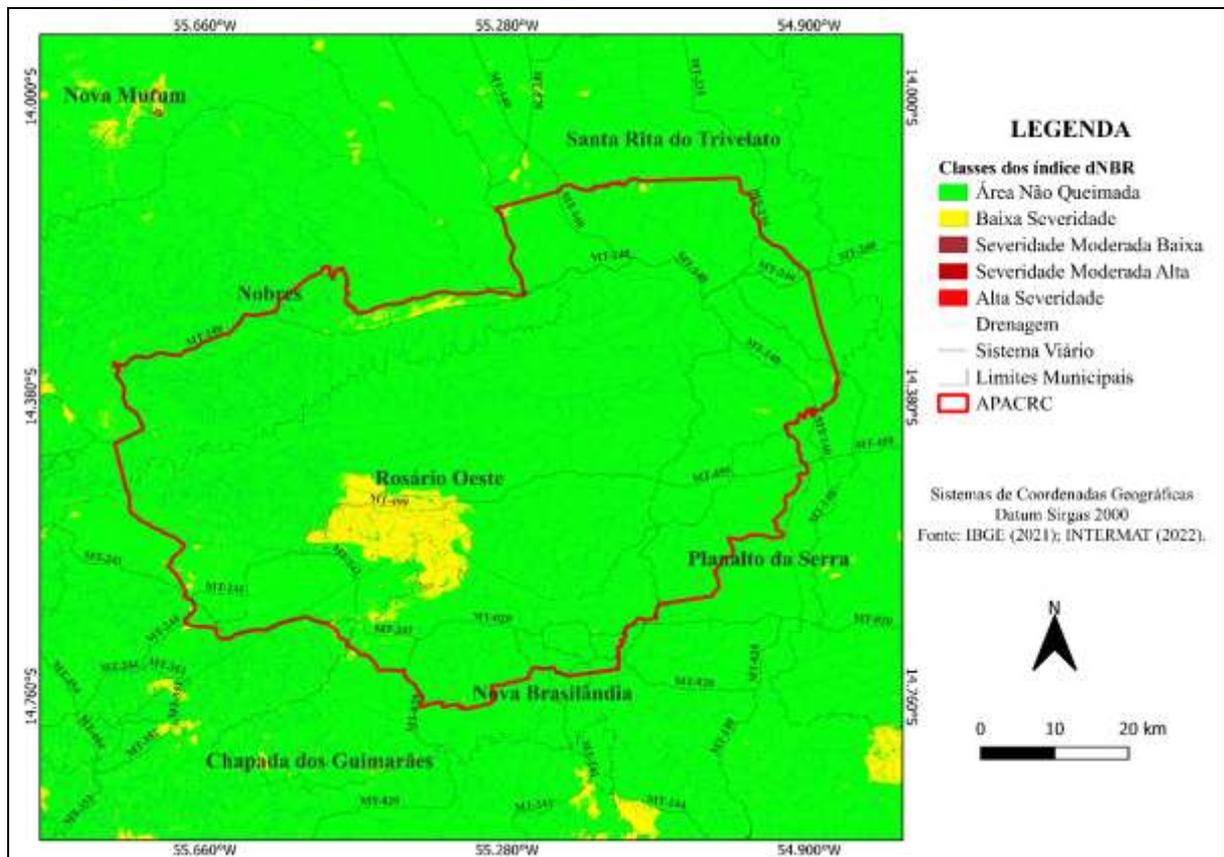
Tabela 1 – Classificação da severidade por dNBR na APACRC para a queima de setembro de 2020.

Valor	Contagem de pixel	Área (km ²)	(%)	Classificação
2	54	0,04	0,00	Baixa rebrota
3	4999493	4499,54	95,08	Não queimada
4	256348	230,71	4,88	Baixa severidade
5	1410	1,26	0,03	Severidade moderada baixa
6	518	0,46	0,01	Severidade moderada alta
7	382	0,34	0,01	Alta severidade
Total	5258205	4732,38	100,00	

Fonte: Autores (2024).

O mapa da Figura 7 apresenta os resultados do índice dNBR. Na região mais afetada foram identificadas áreas de baixa severidade (4), moderada baixa (5), moderada alta (6), e alta severidade (7). Em áreas com alta severidade (6 e 7), o fogo ainda estava presente.

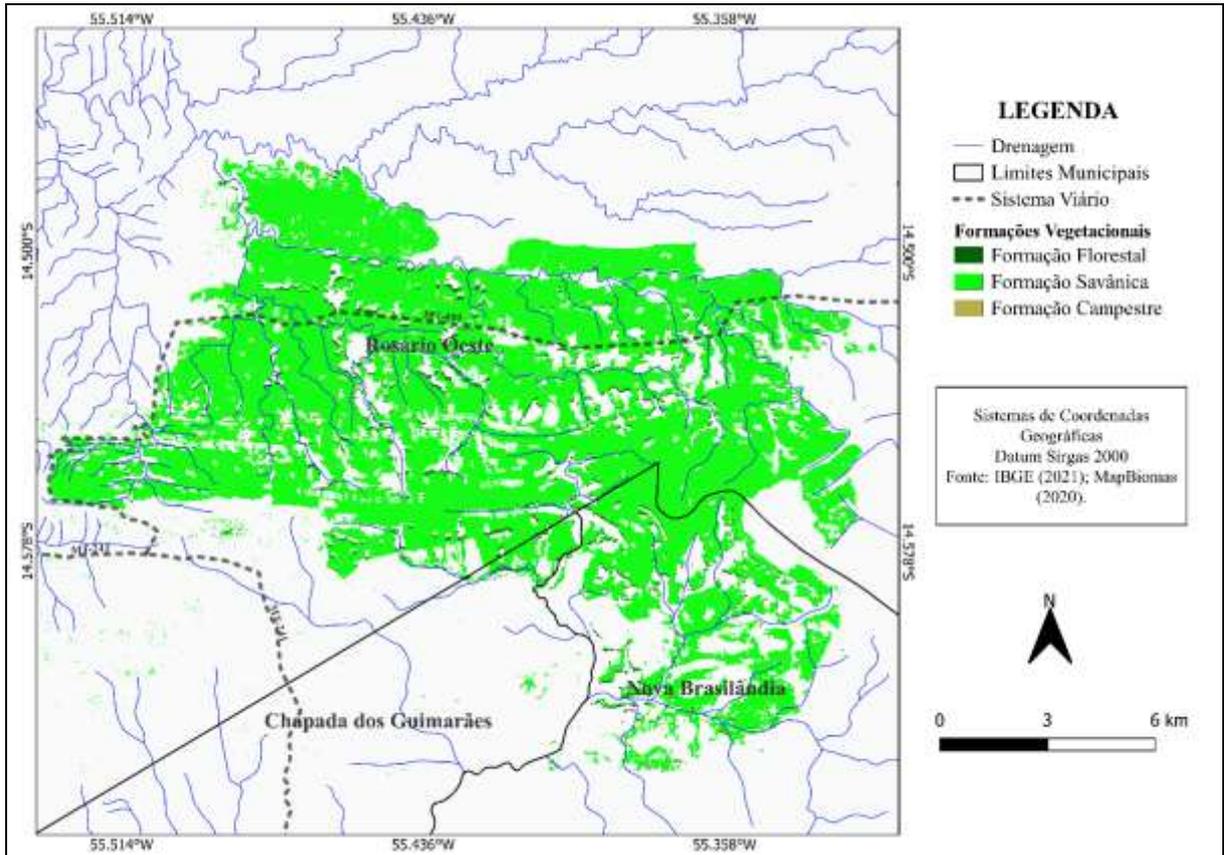
Figura 7 – Severidade de queimada na Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC), por meio do dNBR, setembro (2020).



Fonte: Autores (2024).

A heterogeneidade do bioma Cerrado pode afetar os resultados, por isso os dados foram analisados conforme as grandes formações desse complexo bioma, individualmente. O uso e cobertura da APA são mostrados no mapa da Figura 8, e as distinções vegetacionais na cicatriz, no mapa da Figura 9.

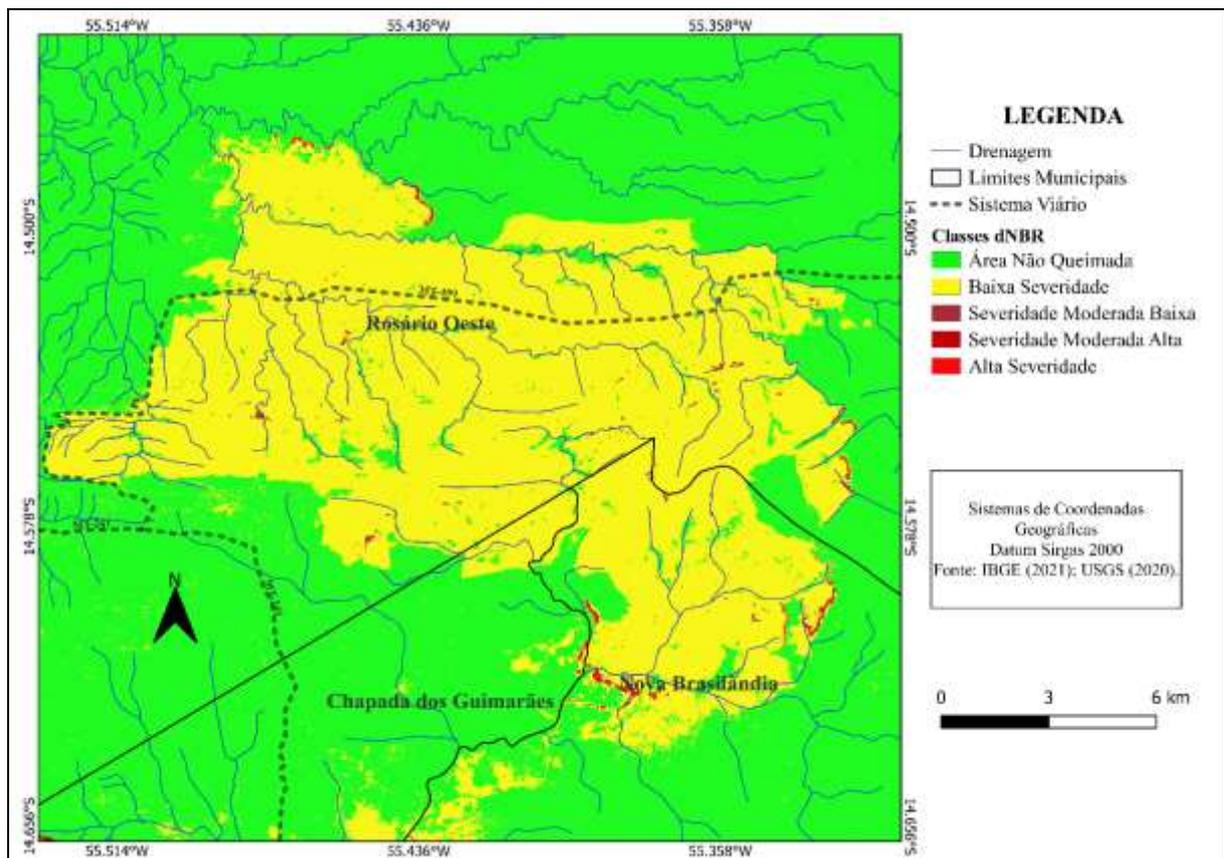
Figura 9 – Formações vegetacionais encontradas na área afetada, setembro de 2020.



Fonte: Autores (2024).

No estudo, 18.870,57 hectares foram atingidos pelo fogo, sendo 87,51% de formação savânica, 11,78% florestal e 0,71% campestre. A maior parte sofreu baixa severidade ao fogo. A representação está no mapa da Figura 10 e detalhes na Tabela 2.

Figura 10 – Classificação da queima por dNBR na Área de Estudo, setembro de 2020.



Autores (2024).

Tabela 2 – Classificação da severidade por dNBR na formação campestre (AFC) na APACRC, setembro de 2020.

Formação Campestre				
Valor	Contagem de pixel	Área (ha)	(%)	Classificação
4	1492	134,28	99,60	Baixa severidade
5	3	0,27	0,20	Severidade moderada baixa
6	2	0,18	0,13	Severidade moderada alta
7	1	0,09	0,07	Alta severidade
Total	1498	134,82	100,00	

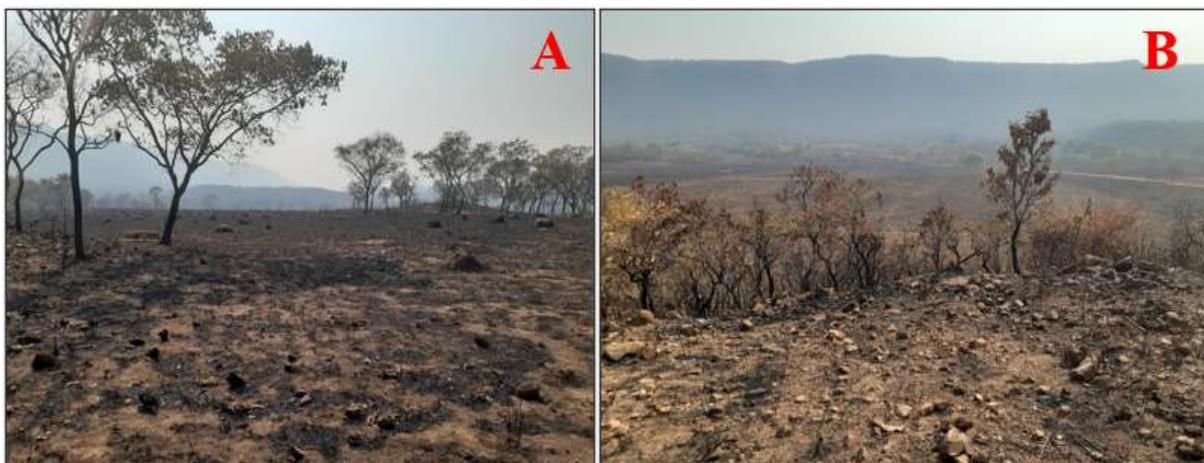
Formação Savânica				
Valor	Contagem de pixel	Área (ha)	(%)	Classificação
4	182009	16380,81	99,20	Baixa severidade
5	922	82,98	0,50	Severidade moderada baixa
6	326	29,34	0,18	Severidade moderada alta
7	229	20,61	0,12	Alta severidade
Total	183486	16513,74	100,00	

Formação Florestal				
Valor	Contagem de pixel	Área (ha)	(%)	Classificação
4	23985	2158,65	97,15	Baixa severidade
5	370	33,3	1,50	Severidade moderada baixa
6	183	16,47	0,74	Severidade moderada alta
7	151	13,59	0,61	Alta severidade
Total	24689	2222,01	100,00	

Fonte: Autores (2024).

Estudos sobre o grau de severidade em unidades de conservação do Cerrado, como Teobaldo e Baptista (2016), obtiveram resultados semelhantes. Os autores sugeriram maior relativização do índice dNBR para melhor detalhamento dos resultados. Miller e Thode (2007) também observaram resultados semelhantes em 14 incêndios na Califórnia, EUA. Registros das queimadas estão nas Fotos 1 (A e B).

Foto 1 – Área queimada – registro em 14/09/2020 (ocorrência da queimada).



Fonte: Autores (2024).

Para analisar o efeito da queima nas paisagens de forma eficaz, é essencial realizar uma análise em duas etapas: uma envolvendo o sensoriamento remoto e outra dedicada à validação e calibração em campo, que deve ocorrer antes das queimadas. Isso permite uma avaliação precisa das mudanças em relação às condições pré-fogo. No entanto, essa tarefa pode ser desafiadora devido à falta comum de dados pré-fogo para a maioria das queimadas (Key e Benson, 2006).

Considerando a sazonalidade climática do Cerrado, na aplicação para esse ambiente específico, os pixels com valores superiores a +56 foram considerados como queimados, diferentemente do estudo original de Key e Benson (2006), que foi conduzido em áreas florestadas nos Estados Unidos, onde a classe de baixa severidade variou de 100 a 270. Portanto, é provável que esses valores variem de acordo com os eventos sazonais nas áreas de estudo.

Ao estudar o índice NBR e suas variações em conjunto com outros estudos envolvendo geotecnologia no Cerrado, alguns autores comprovaram sua eficácia em apresentar resultados. Por exemplo, Teobaldo e Baptista (2016) utilizaram este índice em análises de sequestro de carbono.

Naturalmente, Maillard e Costa-Pereira (2011) afirmam que o Cerrado pode levar até 12 anos para se regenerar sem perturbações. Eles destacam que incêndios florestais no auge da estação seca são especialmente destrutivos e devem ser evitados.

Em relação à classificação e quantificação pelo NDVI, foram utilizadas as informações de Leal (2019). Esses autores tentaram quantificar uma queimada ocorrida no Parque Nacional das Emas e concluíram que o comportamento da vegetação foi afetado conforme os valores do NDVI. Os dados de classificação apresentados pelo autor são encontrados na Tabela 3, que foi aplicada na pesquisa.

Tabela 3 – Escala de níveis de severidade do dNDVI. Adaptado de Leal (2019).

Nível de Severidade	Legenda e Código	Extensão	Código da Classificação
	Hexadecimal		
Baixa	#218D08	-0,57 a 0,00	1
Moderada	#5AFB45	0,00 a 0,14	2
Média	#FFEF12	0,14 a 0,23	3
Alta	#FF9C32	0,23 a 0,31	4
Muito alta	#FF0007	0,31 a 1,00	5

Fonte: Autores (2024).

Ao reaplicar o modelo, observa-se que, na área queimada do presente estudo, a maior parte (81,97%) sofreu severidade moderada, seguida por 10,42% de baixa severidade, 7,51% de severidade média, e 0,10% de alta severidade. As informações são apresentadas na Tabela 4.

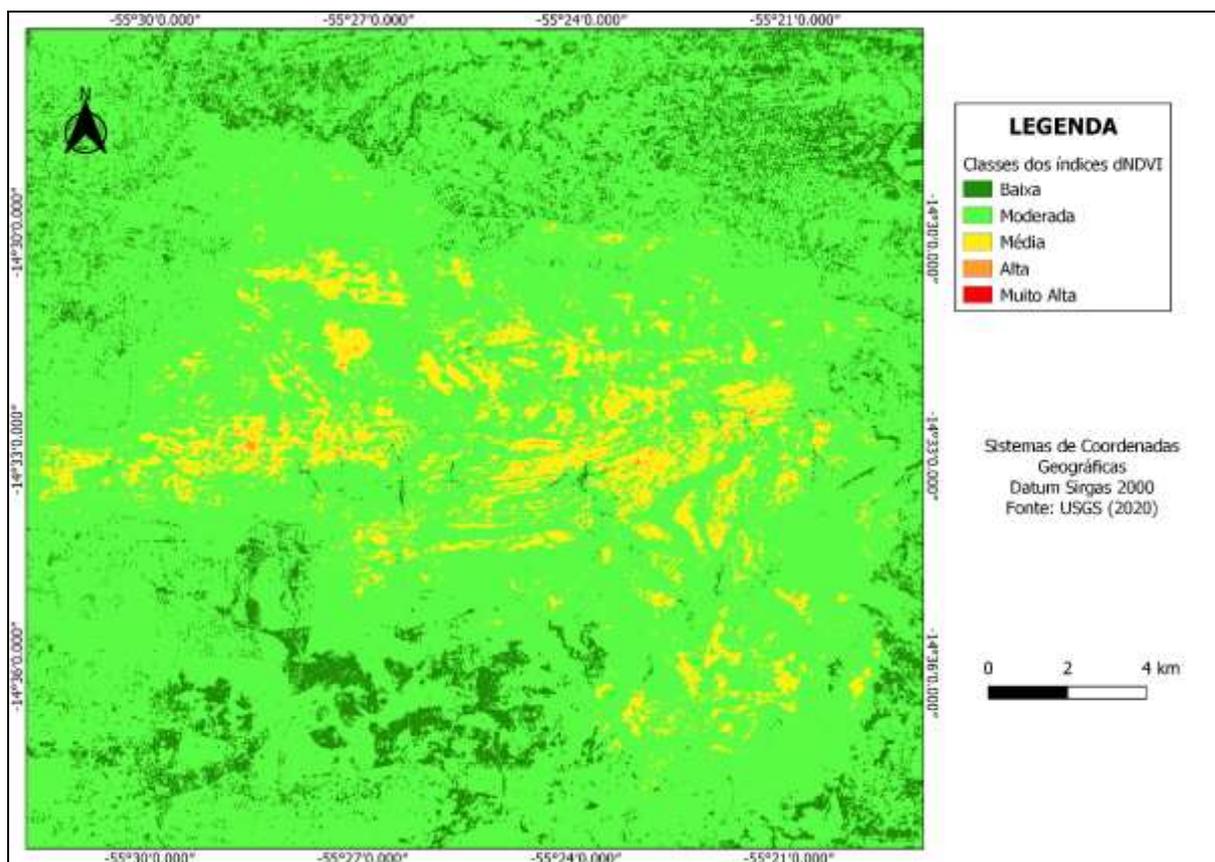
Tabela 4 – Classificação da severidade por dNDVI na Área de Estudo da APACRC para a queima ocorrida em setembro de 2020.

Valor	Contagem de pixel	Área (km ²)	%	Classificação
1	51677	47.91	10.42	Baixa
2	400582	376.86	81.97	Moderada
2	38105	34.55	7.51	Média
4	499	0.45	0.10	Alta
5	0	0.00	0.00	Muito alta
Total	490863	459.77	100.00	

Fonte: Autores (2024).

O mapa da Figura 11 ilustra graficamente as classes do dNDVI. Comparando a área queimada do dNBR com o dNDVI, observa-se uma discrepância nas informações.

Figura 11 – Severidade de queimada na mancha afetada da Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC), por meio do dNDVI, setembro (2020).



Fonte: Autores (2024).

Para avaliar a eficácia do NDVI em queimadas, os dados foram comparados com as classes do NBR. Os pixels do dNDVI foram sobrepostos às classes do dNBR e submetidos ao Teste de Tukey. A análise descritiva e estatística dos dados está na Tabela 5.

Tabela 5 – Análise descritiva e fonte de variação com teste de Tukey do índice dNDVI para a formação savânica.

	Média	Mínimo	Máximo
ANQ	0.023	-0.021	0.192
BS	0.109	0.010	0.213
SMB	0.160	-0.014	0.294
SMA	0.080	-0.008	0.189
AS	0.085	-0.004	0.177
	Diferença	Q	(p)
ANQ x BS	0.087	24.594	*
ANQ x SMB	0.138	39.019	*
ANQ x SMA	0.058	16.351	*
ANQ x AS	0.062	17.550	*
BS x SMB	0.051	14.425	*
BS x SMA	0.029	8.243	*
BS x AS	0.025	7.044	*
SMB x SMA	0.080	22.668	*
SMB x AS	0.076	21.469	*
SMA x AS	0.004	1.200	**

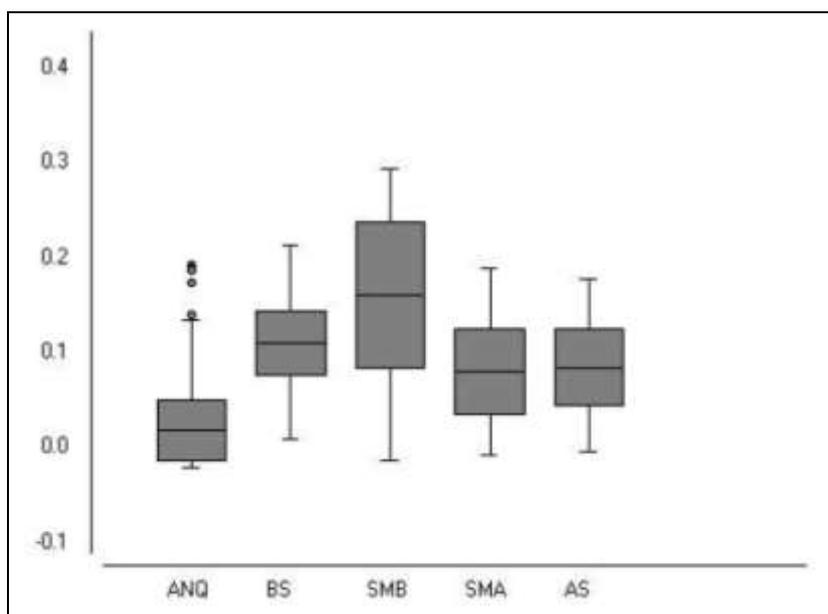
* <0,01; ** NS. Legenda: ANQ (Área Não Queimada), BS (Baixa Severidade), SMB (Severidade Moderada Baixa), SMA (Severidade Moderada Alta), AS (Alta Severidade). Fonte: Autores (2024).

Analisando a Tabela 7, observa-se que há diferença significativa nas médias do dNDVI entre as classes do dNBR em todas as áreas estudadas, exceto entre a Severidade Moderada Alta e a Alta Severidade. Isso indica que o dNDVI foi eficaz em distinguir classes na formação savânica da APACRC.

Além disso, foi analisado o desvio padrão das médias do dNDVI (Figura 12). A representação mostra claramente a distinção entre as Áreas Não Queimadas e as áreas afetadas pelo fogo. Ademais, a análise revela que não há aumento consistente com a severidade, sugerindo que o dNDVI, na forma apresentada por Leal (2019), não foi

totalmente aplicável à formação savânica da APACRC para a queima ocorrida em setembro de 2020.

Figura 12 – Desvio padrão do dNDVI para as classes Área Não Queimada (ANQ), Baixa Severidade (BS), Severidade Moderada Baixa (SMB), Severidade Moderada Alta (SMA) e Alta Severidade (AS) na formação savânica da Área de Proteção Ambiental das Cabeceiras do Rio Cuiabá (APACRC).



Fonte: Autores (2024).

Coutinho (2016) utilizou os índices NDVI, SAVI, RATIO e IAF para identificar áreas queimadas no Parque Estadual da Lapa Grande, em Minas Gerais, no bioma Cerrado. Eles concluíram que todos os índices são eficazes na identificação, mas o NDVI foi limitado na detecção de falsos positivos.

Fernandes (2016) avaliou os índices NDVI, SAVI, IAF, NDWI e dNBR na APA do Rio Pandeiro, norte de Minas Gerais, no Cerrado. Os autores afirmaram que os índices foram eficazes na identificação das cicatrizes de queimadas, sendo ferramentas importantes para a quantificação dessas áreas.

Oliveira, Costa e Vieira (2021) compararam os índices de vegetação NBR e NDVI na identificação de áreas queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas. Eles

concluíram que o NBR apresentou melhor separação entre vegetação saudável e queimada do que o NDVI, que não diferenciou claramente as classes.

Conclusões

Desde o surgimento do ser humano no planeta Terra, há 195 mil anos, ele tem alterado o ambiente ao seu redor. Ao longo da evolução biológica, suas ações foram ganhando relevância global. No entanto, os impactos mais significativos começaram com a revolução industrial, quando a necessidade humana de expandir seu território gradualmente resultou em problemas locais e globais, como o aquecimento global (Albuquerque, 2007).

O homem desempenhou um papel crucial na modificação do bioma Cerrado, especialmente através da ocupação e uso do solo, destacando-se a exploração pelo agronegócio de pecuária de corte. Segundo dados do MapBiomas (2022), nos últimos 35 anos, o Cerrado perdeu uma quantidade considerável de vegetação natural, com as formações florestais, savânicas e campestres ocupando 67% do território original e agora cobrindo apenas 54%. O bioma cedeu espaço para novos usos, como agricultura e pecuária de corte.

Na análise das diferentes formações vegetais, o índice dNBR mostrou que, embora tenha contribuído para o avanço das queimadas, a maioria das áreas foi afetada com baixa severidade. Isso sugere que os danos na regeneração podem não ser tão graves nesta situação de queimada. Embora o índice de vegetação NDVI tenha mostrado dificuldades em identificar áreas queimadas em comparação com o NBR, ele pode ajudar a distinguir entre os diferentes níveis de severidade.

O índice de vegetação dNBR é uma ferramenta eficaz para a análise da severidade de queimadas na formação savânica do Cerrado. Contudo, para identificar com precisão os efeitos das queimadas nas diferentes classes de severidade, é fundamental complementar essa análise com estudos adicionais, como avaliações de campo realizadas antes e depois do fogo. A combinação do dNBR com outros índices que medem diferentes impactos ambientais também pode aprimorar os resultados. Além disso, é essencial realizar pesquisas que abordem o processo de sucessão ecológica da

área afetada ao longo do tempo, garantindo uma compreensão mais abrangente das consequências das queimadas.

Para compreender melhor os efeitos das queimadas, é crucial combinar o índice de severidade com outras métricas de estudos in loco que avaliem diferentes impactos ambientais. Essa abordagem permite associar observações de campo aos resultados obtidos, proporcionando uma análise mais detalhada e precisa dos efeitos das queimadas. Além disso, são necessárias mais pesquisas para acompanhar como as áreas afetadas se recuperam ao longo do tempo.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Estadual de Goiás e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pelo apoio financeiro proporcionado para o desenvolvimento desta pesquisa no âmbito do Mestrado.

Referências

ALBUQUERQUE, B. As relações entre o homem e a natureza e a crise sócio-ambiental. Rio de Janeiro, RJ: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, **Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz)**, 2007.

BERTIER, F. L.; SILVA, R. A.; DALLA NORA, G. Fogo no mato, perigo de fato? Ponderações comunitárias sobre o uso do fogo no Cerrado Mato-Grossense. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 11, n. 2, p. 144-157, 2020.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasílica**, v. 20, p. 13-23, 2006.

COUTINHO, M. A. N. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO E IAF para identificação de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 70-81, 2016.

DAP/SBF/MMA. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/usos-permitidos.html>. Acesso em: 24 jan. 2022.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (coord.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: UnB, **SEMATEC**, 1990. p. 9-65.

FALLEIRO, R. M. Resgate do manejo tradicional do cerrado com fogo para proteção das terras indígenas do oeste do Mato Grosso: um estudo de caso. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, v. 2, p. 86-96, 2011.

FERNANDES, A. C. G. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016.

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

GONÇALVES, W. L. Fogo no Pantanal: uma análise conceitual sobre as contribuições bibliográficas. **Biodiversidade**, v. 20, n. 1, 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 01 jan. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 23 dez. 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 ago. 2023.

INTERMAT – Instituto de Terras do Mato Grosso. Disponível em: <https://intergeo.intermat.mt.gov.br/portal/apps/sites/#/portal-de-dados-cartograficos/pages/base-cartografica-mt-portal>. Acesso em: 03 mar. 2022.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. Landscape assessment (LA). **FIREMON**: Fire effects monitoring and inventory system, v. 164, p. 1-55, 2006.

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

LEAL, F. A. Utilização do NDVI na análise da vegetação após ocorrência de incêndio. **Nativa**, v. 7, n. 2, p. 226-231, 2019.

LEONEL, M. O. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. **Estudos Avançados**, v. 14, p. 231-250, 2000.

MAILLARD, P.; COSTA-PEREIRA, P. S. Estimação da idade da regeneração da vegetação de cerrado a partir de imagens Landsat. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 34-47, 2011.

MAPBIOMAS – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: [https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/?activeBaseMap=8&layersOpacity=70&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2020&mapPosition=-13.774066%2C-50.866699%2C5&timelineLimitsRange=1985%2C2020&baseParams\[territoryType\]=2&baseParams\[territory\]=4&baseParams\[territories\]=4%3BCERRADO%3B2%3BBioma%3B-24.6817801%3B-60.4725956%3B-2.3320883%3B-](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/?activeBaseMap=8&layersOpacity=70&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2020&mapPosition=-13.774066%2C-50.866699%2C5&timelineLimitsRange=1985%2C2020&baseParams[territoryType]=2&baseParams[territory]=4&baseParams[territories]=4%3BCERRADO%3B2%3BBioma%3B-24.6817801%3B-60.4725956%3B-2.3320883%3B-)

41.277535500000006&baseParams[activeClassesLevelsListItems]=1%2C2%2C3%2C4%2C5%2C6. Acesso em: 23 jan. 2022.

MEDEIROS, M. B. Manejo do fogo em unidades de conservação do cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, v. 10, 2002.

MELO, M. M.; SAITO, C. H. Regime de queima das caçadas com uso do fogo realizadas pelos Xavante no cerrado. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, v. 2, p. 97-109, 2011.

MILLER, J. D.; THODE, A. E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 1, p. 66–80, 2007.

MOURA, L. C. Implicações e aprendizados do manejo integrado do fogo no Cerrado: estudo de caso no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), 2018.

OLIVEIRA, A. C.; COSTA, P. O. S. V.; VIEIRA, R. B. Uso de sensoriamento remoto para identificação de queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas, 2021.

RABELO, L. M. Aves ameaçadas de extinção nas unidades de conservação e o efeito da exposição ao fogo no Cerrado, 2021.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Cerrado: ecologia e flora. Brasília, DF: **Embrapa Cerrados – Embrapa Informação Tecnológica**, 2008.

SCHMIDT, I. B. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. Quantificação da severidade das queimadas e da perda de sequestro florestal de carbono em unidades de conservação do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 250-264, 2016.

Unidades de Conservação no Brasil. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/es/arp/1348#pesquisa>. Acesso em: 24 jan. 2023.

Recebido: **19/07/2024** Aceito: **24/08/2024**

Editor Geral: Dr. Eliseu Pereira de Brito