UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS - IH
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA

KAMILA VIEIRA DE MORAES

Avaliação multitemporal do NDVI em áreas queimadas para o estudo da resiliência de fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO

Brasília
2021

KAMILA VIEIRA DE MORAES

Avaliação multitemporal do NDVI em áreas queimadas para o estudo da resiliência de fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geografia do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciada em Geografia.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Potira Meirelles Hermuche

Brasília

2021

Universidade de Brasília

FORMULÁRIO

Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Humanas

Departamento de Geografia

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Aluno: Kamila Vieira de Moraes

Matrícula: 160129681

Título: "Avaliação multitemporal do NDVI em áreas queimadas para o estudo da resiliência de fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros - GO"

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Potira Meirelles Hermuche

Prof. Dr. Vinicius Vasconcelos de Souza - GEA/UnB

Prof. Dr. Nickolas Castro Santana - Membro externo

Resultado:

A Comissão Examinadora, em **04/11/2021** após apresentação da Monografia de Graduação pela Plataforma Teams e argüição do (a) aluno (a), decidiu:

Pela Aprovação da Monografia - (x) Menção atribuída SS	Pela Reprovação da Monografia ( ) Menção atribuída _____

Documento assinado eletronicamente por **Potira Meirelles Hermuche**, **Professor(a) de Magistério Superior do Departamento de Geografia do Instituto de Ciências Humanas**, em 04/11/2021, às 11:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.

Documento assinado eletronicamente por **Nickolas Castro Santana**, **Usuário Externo**, em 04/11/2021, às 15:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.

Documento assinado eletronicamente por **Vinicius Vasconcelos de Souza**, **Professor(a) de Magistério Superior do Departamento de Geografia do Instituto de Ciências Humanas**, em 05/11/2021, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento na Instrução da Reitoria 0003/2016 da Universidade de Brasília.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unb.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **7257385** e o código CRC **32C64401**.

Endereço: Campus Universitário Darcy Ribeiro - Gleba A, , Brasília/DF, CEP 70910-900
Telefone: e Fax: @fax_unidade@ - http://www.unb.br

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me acompanhado em todos os passos da minha vida, em cada escolha que me fez chegar a esse sonho realizado.

À minha família, meus pais e minha irmã, que cada um a sua maneira me guiou e me amparou nessa jornada da educação.

Aos meus amigos de dentro e fora da universidade que me cederam tantas vezes os seus ouvidos para desabafos, frustrações, alegrias e entusiasmos nestes cinco anos de graduação e que tantas vezes sofreram e se alegraram comigo.

À minha orientadora, professora Potira Meirelles Hurmuche, por todo o companheirismo e dedicação na realização dessa pesquisa, por ter me acompanhado do início ao fim e acreditado nesse trabalho.

Aos professores que compuseram a banca, Vinicius Vasconcelos de Souza e Nickolas Castro Santana, por aceitarem o convite de participar da apresentação dessa pesquisa e por todos os comentários que contribuíram para a melhoria da pesquisa.

À Universidade de Brasília que me proporcionou conhecer um mundo novo e me permitiu me desenvolver como estudante e como pessoa, onde passei momentos inesquecíveis e por onde eu tenho um carinho entorne, se tornou um segundo lar.

Aos professores da Geografia e de outros departamentos que me inspiraram nesse caminho do conhecimento, da ciência e da educação.

APRESENTAÇÃO

A presente pesquisa refere-se ao trabalho de conclusão de curso apresentado em formato de artigo científico ao Departamento de Geografia do Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília como parte dos requisitos para obtenção do grau de Licenciada em Geografia.

Avaliação multitemporal do NDVI em áreas queimadas para o estudo da resiliência de fitofisionomias do Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO

Kamila Vieira de Moraes[1] e Potira Meirelles Hermuche[1]

[1]Departamento de Geografia da Universidade de Brasília – UnB

RESUMO

As queimadas impactam de diferentes formas os ecossistemas terrestres. Em ambientes em que o fogo é um fator de evolução, sua presença é necessária, pois favorece o desenvolvimento de espécies que possuem adaptações a períodos de seca e queima. Contudo, nem todos ecossistemas estão adaptados ao mesmo regime fogo, inclusive dentro de um mesmo bioma, como no caso do Cerrado brasileiro. Assim, as fitofisionomias campestres e savânicas que são adaptadas ao fogo possuem capacidade de resiliência diferente das fitofisionomias florestais, sensíveis ao fogo. Dessa forma, o objetivo da pesquisa é avaliar a resiliência de diferentes formações do Cerrado no contexto de eventos de fogo por meio da análise multitemporal do índice de vegetação NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* – no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO. Assim, adquiriu-se dados de cicatrizes de área queimada disponibilizados no portal Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), dados de vegetação do MapBiomas e o produto MODIS/MOD13Q1 da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) obtido por meio do portal do *Brazil Data Cube* (INPE). Em seguida, os dados foram processados por meio dos *softwares* ArcGIS 10.6 e ENVI 4.5 e foram realizadas avaliações do somatório das cicatrizes de área queimada, área queimada por formação e análise do NDVI acumulado. Assim, os resultados corroboraram com as evidências científicas do comportamento da vegetação do Cerrado, pois apesar da incidência do fogo corresponder a poucas áreas das fitofisionomias florestais e ainda ter sido submetida a menor recorrência registrada, de apenas 3 anos, enquanto as fitofisionomias savânicas apresentaram recorrência de 5 anos, a vegetação florestal teve a maior amplitude relacionada à diferença entre o valor de NDVI sem queimadas e de quando ocorre queimadas, demonstrando menor resiliência a eventos persistentes de fogo.

Palavras-chave: Cerrado; NDVI; Fogo; PNCV.

ABSTRACT

Fires impact land ecosystems in different ways. In environments where fire is a factor of evolution, its presence is necessary, because it favors the development of species that have adaptations to periods of drought and burning. However, not all ecosystems are adapted to the same fire regime, even within the same biome, as in the case of the Brazilian Cerrado. Thus, the rural and savanic phytophysiognomies that are adapted to fire have resilience capacity different from forest phytophysiognomies, sensitive to fire. Thus, the objective of the research is to evaluate the resilience of different formations of the Cerrado in the context of fire events through the multitemporal analysis of the vegetation index NDVI - Normalized Difference Vegetation Index - in the National Park of Chapada dos Veadeiros - GO. Thus, data on burned area scars were obtained from the Queimadas portal of the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), MapBiomas vegetation data and the MODIS/MOD13Q1 product of the National Aeronautics and Space Administration (NASA) obtained through the Brazil Data Cube (INPE) portal. The data were then processed using the software ArcGIS 10.6 and ENVI 4.5 and evaluations were made of the sum of the scars of the burned area, burned area by

formation and analysis of the accumulated NDVI. Thus, the results corroborated the scientific evidences of the behavior of the vegetation of the Cerrado, because despite the incidence of the fire correspond to few areas of the forest phytophysiognomies and still have been submitted to smaller recurrence recorded, of only 3 years, while the Savanic phytophysiognomies presented recurrence of 5 years, the forest vegetation had the greatest amplitude related to the difference between the NDVI value without burning and when burning occurs, demonstrating less resilience to persistent fire events.

Keywords: Cerrado; NDVI; Fire; PNCV.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história humana, o fogo tem sido frequentemente utilizado como ferramenta de manejo do solo para as atividades agropastoris (OLIVEIRA *et al.,* 2020). Mas nas últimas décadas as queimadas, sobretudo aquelas provenientes de atividades humanas, geralmente associadas à agricultura e pecuária que visam a expansão de terras para a substituição de pastagens ou culturas, têm provocado um desequilíbrio entre as ocorrências de fogo e a recuperação dos ecossistemas, gerando a fragmentação e degradação da biodiversidade local (LOTUFO *et al.*, 2020; SILVA *et al.,* 2020).

No entanto, no Cerrado brasileiro, o fogo é um evento natural recorrente e até imprescindível para o equilíbrio dos ecossistemas e para a conservação da biodiversidade (COUTINHO, 2002; SCHMIDT *et al.,* 2016a; SAMPAIO *et al.,* 2016; GORGONE-BARBOSA *et al.,* 2016), sendo sua vegetação determinada por um conjunto de fatores que envolve a sazonalidade das chuvas, a deficiência de nutrientes do solo e o fogo (MIRANDA *et al.,* 2010), que regula e condiciona as fitofisionomias do Cerrado *lato sensu*, fazendo com que muitas espécies de sua flora necessitem do fogo ao longo do seu ciclo vital (WALTER e RIBEIRO, 2010). Ainda de acordo com os autores, essa necessidade acontece porque a ação do fogo nas savanas e campos interfere na distribuição, riqueza e composição da vegetação, permitindo a vantagem competitiva das espécies adaptadas, as pirofíticas. Entretanto, o fogo pode causar danos rigorosos às fitofisionomias não adaptadas, reduzindo a biomassa das espécies, como ocorre nas Matas de Galeria. (WALTER e RIBEIRO, 2010).

A vegetação pirofítica, por outro lado, possui adaptações anatômicas e fisiológicas que as conduzem a uma resiliência em eventos de fogo, como frutos lenhosos ou serotinosos; cascas espessas e reservas subterrâneas; capacidade de rebrota a partir de estruturas subterrâneas ou aéreas; floração, dispersão ou germinação de sementes colaboradas pela ocorrência do fogo. Assim, o restabelecimento da vegetação nesses ambientes começa logo após a passagem do

fogo. Por isso, com a alteração no regime de fogo, com a sua exclusão ou o aumento da frequência e mudança da época das queimadas, pode ocorrer a transformação da composição de espécies e, principalmente, da estrutura da vegetação (SCHMIDT *et al.*, 2016a).

Além disso, por muito tempo, e como tendência mundial, houve a hegemonia das políticas de fogo zero que visam a supressão do uso de fogo por meio de legislações restritivas e fiscalizações. Vigorava, portanto, a concepção de que o fogo era prejudicial para a manutenção dos recursos naturais e para as populações de modo geral. Tais políticas ignoravam os fatores climáticos, econômicos, culturais e ecológicos, além de não atender ao objetivo principal, que era a redução de incêndios, pelo contrário, fez com que houvesse acúmulo de biomassa e, por consequência, ocorrência de incêndios com maior severidade. Outro ponto é que a estratégia de exclusão do fogo gerou muitos gastos em equipamentos e recursos humanos para o combate ao fogo e ações de conscientização da população que não foram eficazes (DIAS e MIRANDA, 2010; SCHMIDT *et al.*, 2016a; SCHMIDT *et al.*, 2016b; FALLEIRO *et al.*, 2016; BARRADAS *et al.*, 2020).

Nesse sentido, as queimadas geram diferentes consequências para a vegetação do Cerrado, dependendo de fatores ecológicos, sociais, econômicos e culturais. Assim, os estudos no âmbito dos impactos do fogo no Cerrado e as suas consequências nos diferentes tipos de vegetação são substanciais para a formulação de políticas governamentais e métodos capazes de orientar procedimentos aos órgãos ambientais competentes e às populações que utilizam o fogo, a fim de evitar ou controlar incêndios e para a realização eficiente do manejo do fogo nas áreas savânicas e campestres, nas quais o fogo se faz um instrumento de conservação da biodiversidade (RAMOS *et al.*, 2016; LAZARINI *et al.*, 2016; BARRADAS *et al.*, 2020; BORGES *et al.*, 2021).

Dessa maneira, o uso de dados derivados de sensoriamento remoto se mostram cada vez mais essenciais, pois são fontes de informações acerca dos fenômenos terrestres, os quais possibilitam estudar as características espectrais dos alvos, como a cobertura dos solos, áreas agrícolas e florestais, análise temporal da paisagem, além da detecção e avaliação de áreas queimadas (SILVA *et al.*, 2020), sendo que a identificação dessas áreas proporciona informações sobre a extensão dos incêndios florestais, a localização espacial dos eventos de queimadas e a perda de vegetação, o que é importante para compreender e quantificar fenômenos pós-incêndio, como emissões de gases, erosão do solo e recuperação da cobertura vegetal (SMIRAGLIA *et al.*, 2020). Nesta perspectiva, diversos estudos acerca da análise dos

efeitos do fogo e identificação de áreas queimadas estão sendo produzidos por meio de índices espectrais de vegetação no Brasil e no mundo (PEREIRA *et al.*, 2016; FERNANDES *et al.*, 2016; LAZAJ, 2016; CHEN *et al.*, 2016; FORNACCA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019; PIO e VIEIRA, 2020; KIM *et al.*, 2021).

Portanto, compreendendo a importância das Unidades de Conservação (UC) para a proteção dos ecossistemas, a pesquisa se propõe avaliar a resiliência de diferentes formações do Cerrado no contexto de eventos de fogo por meio da análise multitemporal do índice de vegetação NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* – no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros – GO.

Como objetivos específicos tem-se:

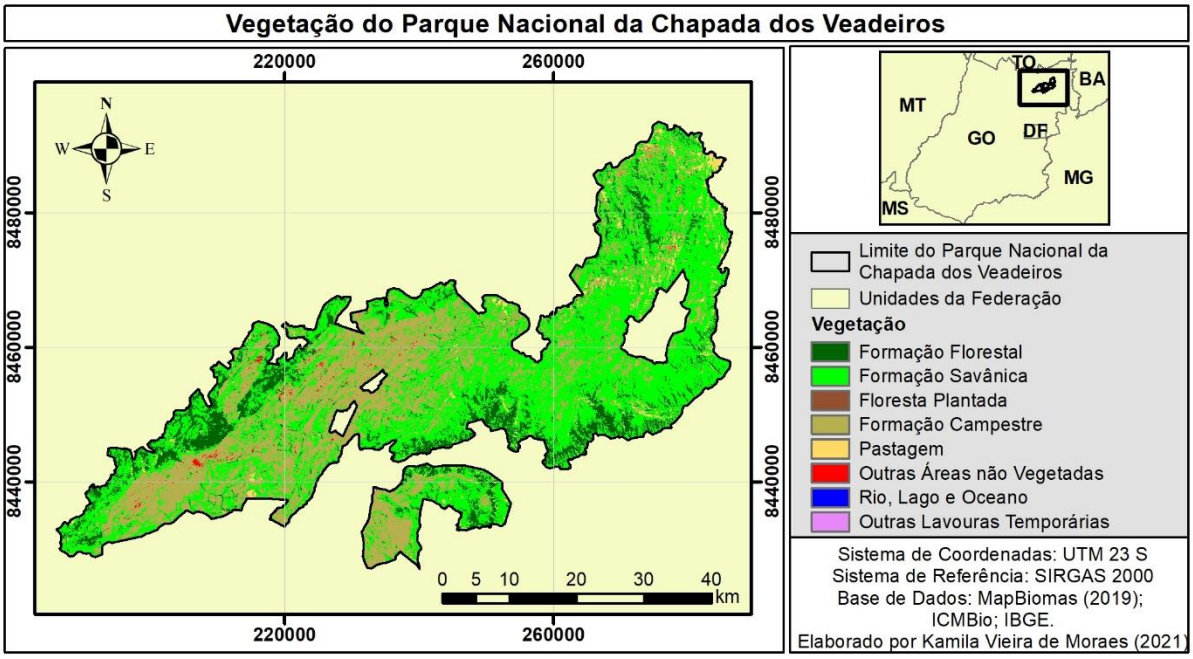
- Analisar as áreas queimadas no interior do parque ao longo do tempo;
- Compreender a ocorrência multitemporal do fogo nas formações campestre, savânica e florestal;
- Analisar o comportamento do NDVI acumulado ao longo do tempo em cada formação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (PNCV) possui aproximadamente 240.500 ha (RIBEIRO *et al.*, 2021) e está situado à nordeste do estado de Goiás, nos municípios de Alto Paraíso de Goiás, Cavalcante, Nova Roma, São João D'Aliança e Teresina de Goiás. Na região do PNCV há a ocorrência de todas as formações: florestais, savânicas e campestres, com fitofisionomias de Mata de Galeria, Mata Mesofítica, Cerradão, Cerrado Denso, Vereda, Cerrado Rupestre, Cerrado Ralo, Campo Rupestre, Campo Sujo e Campo Limpo, sendo predominantes as fitofisionomias de Cerrado *stricto sensu* e os campos, enquanto o Cerradão é encontrado em menor proporção (TSN, 2009). Abaixo, a Figura 1 apresenta o uso e ocupação da terra do ano de 2019 do Projeto MapBiomas (2019) com a distribuição dos tipos de vegetação do PNCV.

Figura 1 – Vegetação do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O clima da região é classificado como Aw – tropical chuvoso – de acordo com Köppen, e é caracterizado pela sazonalidade, com invernos secos e verões chuvosos (RIBEIRO e WALTER, 2008). A precipitação varia em torno de 1.500mm a 1.750mm anuais, sendo considerados secos, os meses entre junho e agosto e chuvosos, os meses de novembro a março, enquanto os meses de abril e maio são considerados meses de transição para o período seco e setembro, transição para o período chuvoso (TSN, 2009). As características naturais da região do PNCV como a existência de muitos rios, córregos, cachoeiras e cânions e da presença de espécies endêmicas, o faz ser considerado um *hotspot* da biodiversidade (FRANÇA e MARTINS, 2020).

2.2 Análise da Paisagem por Morfometria

Com o intuito de caracterizar a área de estudo, visando a análise dos aspectos físicos da paisagem correlacionada com a ocorrência de fogo, realizou-se a análise morfométrica, uma vez que o reconhecimento dos aspectos físicos de um ecossistema é essencial para obter o diagnóstico ambiental de uma área (HERMUCHE *et al.*, 2002). Assim, a análise por morfometria da paisagem do PNCV ocorreu partir de imagens SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* – de 30m, obtidas no portal *EarthExplorer* do *United States Geological Survey* (USGS, 2021). Para recobrir toda a área do parque foram adquiridas quatro imagens e

feito um mosaico para agrupá-las em um único *raster* por meio do *software* ArcGIS 10.6, através da ferramenta *Mosaic To New Raster.* Assim, foi-se realizado o corte da imagem para essa extensão e a reprojeção da imagem para o sistema de coordenadas planas: Universal Transversa de Mercator Zona 23 Sul e para o datum SIRGAS 2000. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *Fill* para remover imperfeições e discrepâncias entre os valores mínimos e máximos das cotas altimétricas do terreno e assim, foi utilizada a ferramenta *Slope* para gerar o mapa de declividade e a ferramenta *Aspect* para obter a direção de fluxo. Com isso, foi possível gerar a compartimentação da paisagem por meio da execução da ferramenta *Composite Band*, no qual as bandas são referentes aos produtos: altitude (*Red*), declividade (*Green*) e aspecto (*Blue*).

2.3 Análise Multitemporal do Fogo por Formação

Para a análise multitemporal do fogo, foram obtidos dados vetoriais de cicatrizes de queimadas no Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021). Assim, adquiriu-se arquivos vetoriais de área queimada de duas órbitas ponto (221_069 e 221_070) para abranger toda extensão do PNCV. Esses dados são extraídos de imagens dos satélites Landsat-5/TM e Landsat-8/OLI de resolução espacial de 30m. Como não haviam dados disponíveis dos anos de 2012 e 2016 para a órbita ponto 221_070, utilizou-se apenas as cicatrizes de área queimada dos anos de 2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 e 2019. Além disso, foram usadas apenas as cicatrizes de queimadas dos meses que haviam dados disponíveis nas duas órbitas ponto, o que contabilizou 99 *shapefiles* de área queimada. Abaixo, a Tabela 1 demonstra o período das cicatrizes utilizadas.

Tabela 1 – Cicatrizes de Área Queimada

Mês	2011	2013	2014	2015	2017	2018	2019
maio							x
junho	x	x	x	x	x	x	x
julho	x	x	x	x	x	x	x
agosto		x	x	x	x	x	x
setembro		x	x	x	x	x	x
outubro			x				x

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Para o processamento dos dados foi utilizado o *software* ArcGIS na versão 10.6 de acordo com os seguintes passos metodológicos:

1. União dos *shapefiles* de cicatrizes de queimadas por ano;
2. Conversão dos dados por ano para *raster* com as seguintes classes: 0 para áreas sem ocorrência de queimadas e 1 para as áreas queimadas;
3. Somatório das imagens de todos os anos por meio da ferramenta *Raster Calculator;*
4. Resultado: Arquivo *raster* único com a recorrência espacial das áreas queimadas do PNCV. Os pixels com valor 0 representam áreas que não queimaram em nenhum momento; valor 1 áreas que queimaram em 1 ano; valor 2 áreas que queimaram 2 anos e assim sucessivamente.

Desse modo, com a finalidade de comparar a ocorrência de queimadas nas três formações foi utilizado o dado Uso e Cobertura da Terra, da Coleção 5 do bioma Cerrado, do ano de 2019, adquirido no portal do MapBiomas (PROJETO MAPBIOMAS, 2019). Assim, o dado, originalmente em formato *raster*, foi convertido para vetor no ArcGIS 10.6 e separados por tipo de formação. Posteriormente, no *software* ENVI 4.5, foram recortadas as áreas de queimada da imagem e realizado o somatório para cada formação.

2.4 Avaliação Multitemporal do NDVI

Com o intuito de analisar a influência das queimadas na resiliência da vegetação, foram utilizadas as imagens do produto de índice de vegetação MOD13Q1 do satélite TERRA/MODIS da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) referente ao *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) que foi obtido por meio do portal do *Brazil Data Cube* (INPE, 2021).

De acordo com Chen *et al.* (2016) os índices de vegetação permitem uma análise simples, eficaz e segura das condições da vegetação e o NDVI é um índice eficiente para determinar o potencial fotossintético da vegetação (GANDHI *et al.*, 2015), pois está intensamente relacionado à biomassa de superfície (BA *et al.*, 2019). O produto MOD13Q1 possui resolução espacial de 250m e resolução temporal de 16 dias, contendo em seus *pixels* as melhores observações disponíveis durante o intervalo de aquisição da imagem (SARVIA *et al.*, 2021).

As imagens foram empilhadas em sequência cronológica para a construção de um cubo temporal, que representa o comportamento espectral do índice de vegetação ao longo do tempo (REZENDE FILHO, 2017). Dessa forma, foram utilizadas 56 imagens referentes aos anos e meses dos dados de área queimada utilizadas na pesquisa para não ocorrer a superestimação

dos valores de NDVI dos períodos em que não há dados de queimadas no PNCV. A seguir, a Tabela 2 indica o período das imagens obtidas.

Tabela 2 – Imagens MODIS/MOD13Q1

Mês	2011	2013	2014	2015	2017	2018	2019
maio							x
							x
junho	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	x	x
julho	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	x	x
agosto		x	x	x	x	x	x
		x	x	x	x	x	x
setembro		x	x	x	x	x	x
		x	x	x	x	x	x
outubro			x				x

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

De posse do cubo temporal, foi realizado, no *software* ENVI 4.5, o somatório das bandas, resultando em uma única imagem de NDVI acumulado ao longo do tempo. Para compatibilização entre a imagem de NDVI acumulado e o arquivo *raster* do somatório das queimadas, este foi reamostrado para um pixel de 250 metros, compatível com as imagens MODIS.

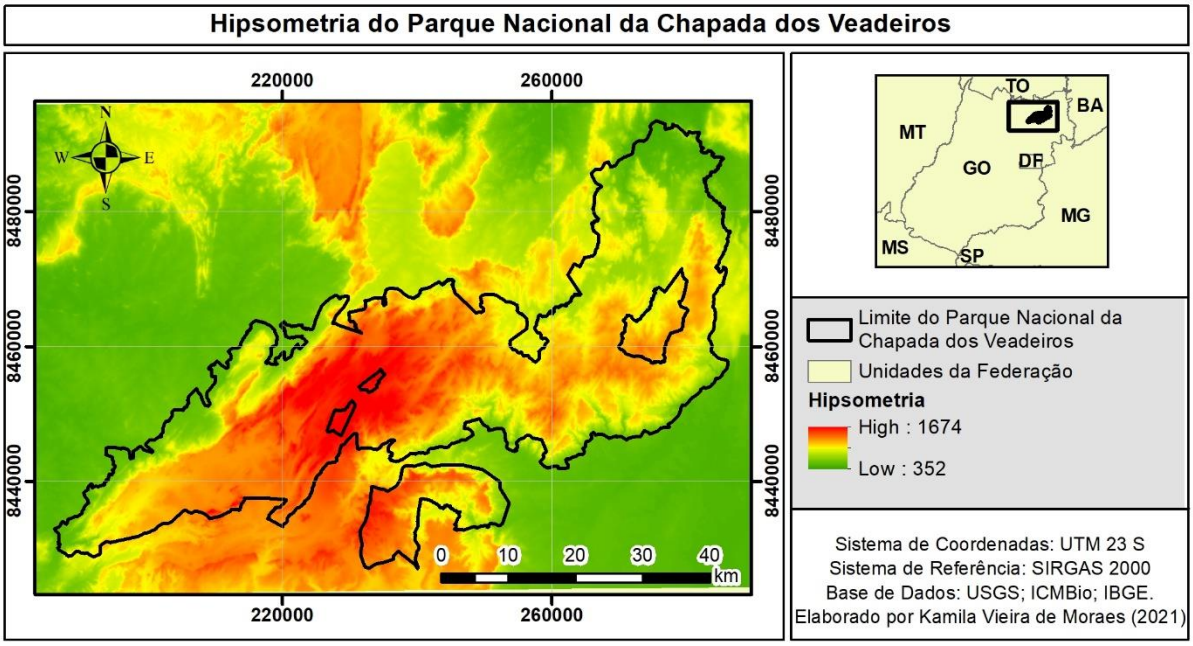
Com base nesses dados, foi realizado o cálculo das estatísticas de média e desvio padrão de todos os pixels presentes em cada classe de queimada (sem queimada, queimou 1 vez, queimou 2 vezes, ...), por formação (campestre, savânica e florestal) para compreensão do comportamento da vegetação após eventos sucessivos de fogo ao longo dos anos analisados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A hipsometria da área de estudo (Figura 2) varia de 352m (especialmente nas bordas do parque, nas direções noroeste, nordeste e sul), até 1674m na região central, com um grande desnível de aproximadamente 1300m. O mapa de declividade (Figura 3) complementa o anterior, indicando altas declividades nas bordas dos relevos mais elevados, inclusive com vales encaixados à sul, estando a área mais plana situada na porção sudoeste e o restante apresenta relevo ondulado. Nesse sentido, segundo Carvalho Júnior *et al.* (2015), a morfologia da região

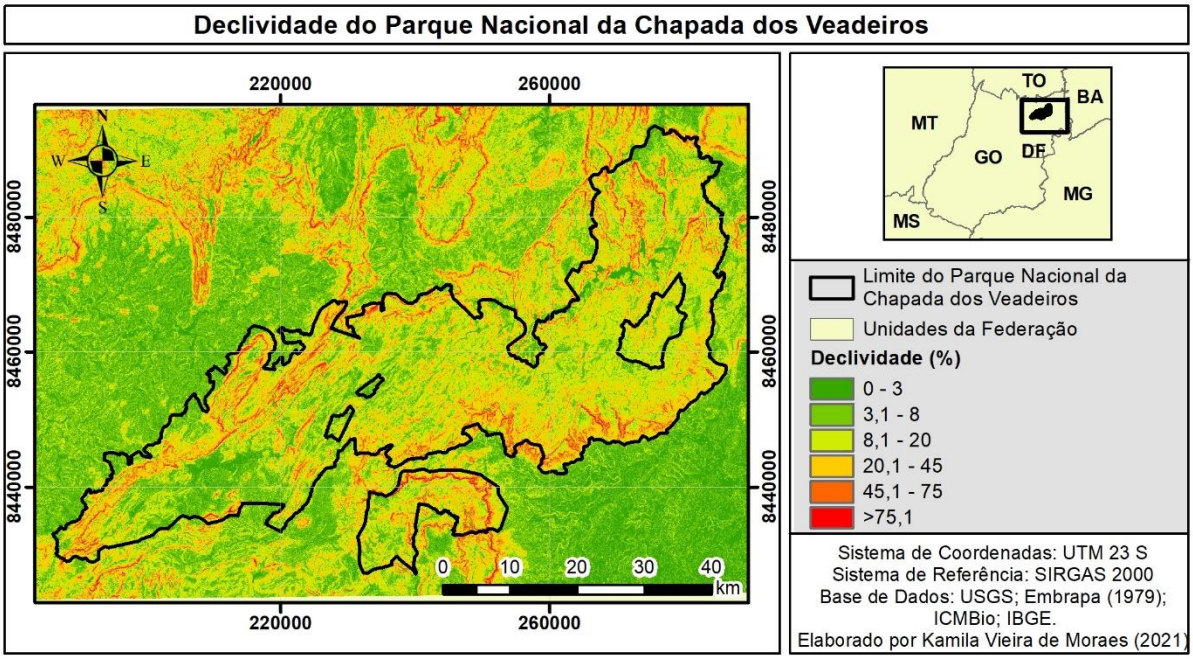
do PNCV foi desenvolvida a partir de um elevado controle tectônico que explica a grande variação topográfica.

Figura 2 – Mapa hipsométrico do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 3 – Mapa de declividade do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros

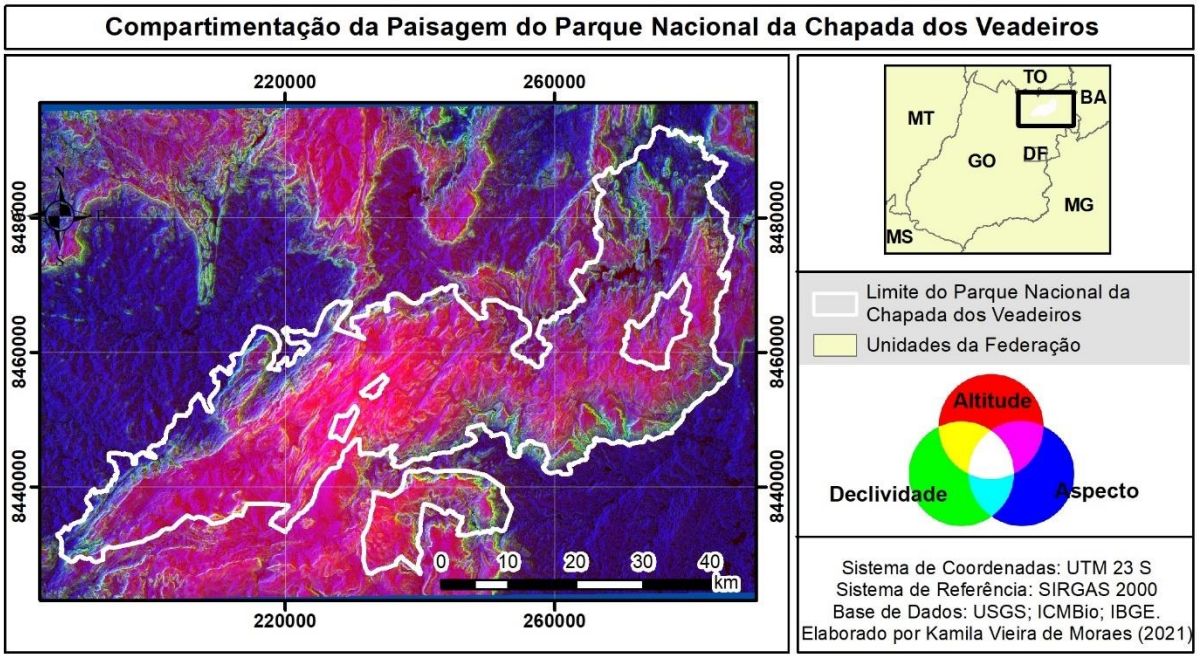


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A compartimentação da paisagem a partir da análise visual da composição colorida dos parâmetros morfométricos (altitude, declividade e aspecto) indica a existência de basicamente

4 unidades homogêneas, indicadas na Figura 4 pelas cores roxo (unidade 1), verde (unidade 2), rosa/magenta (unidade 3) e lilás (unidade 4).

Figura 4 – Composição colorida falsa cor R (altitude) G (declividade) B (aspecto).

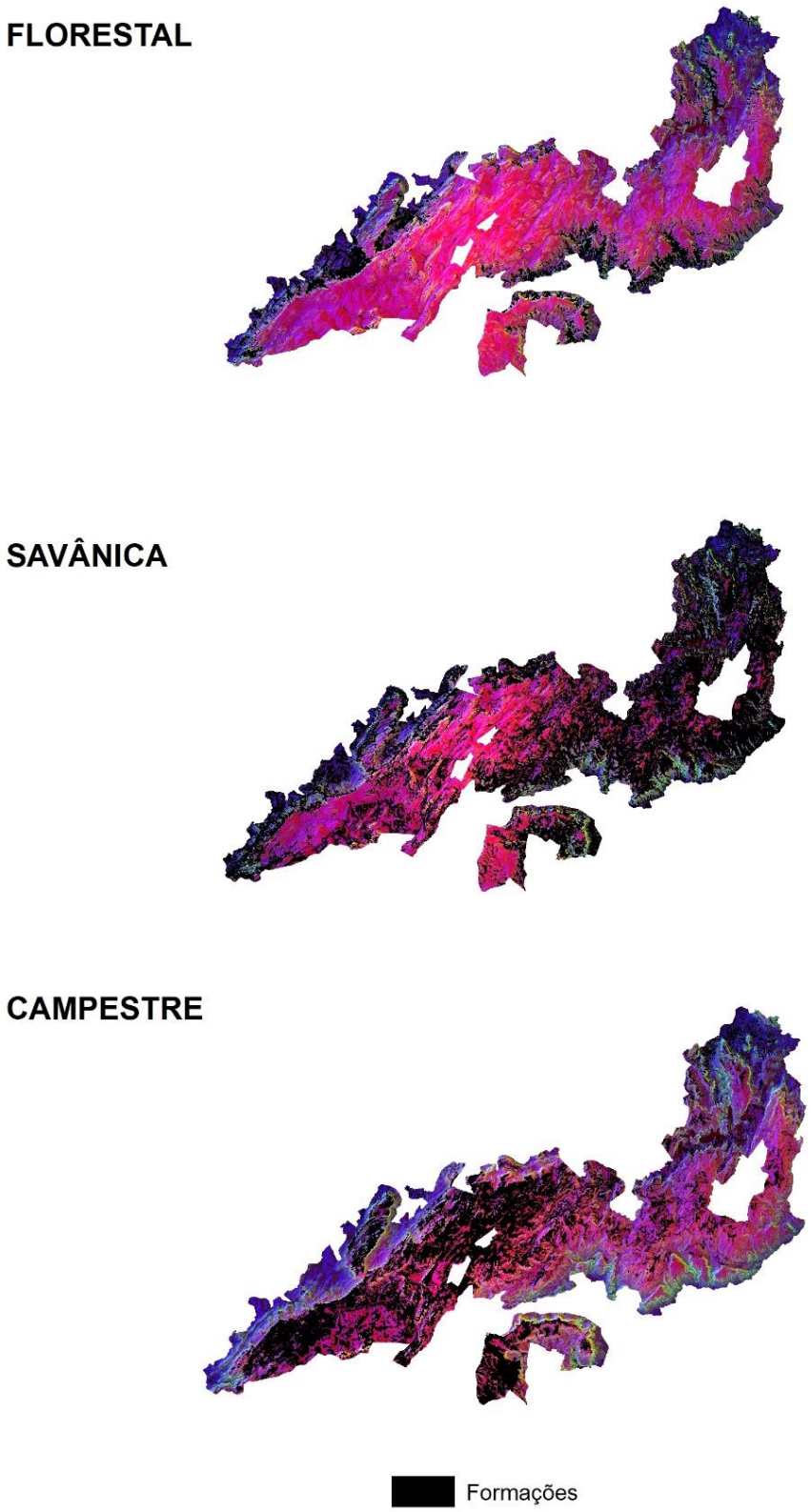


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A unidade 1, localizada especialmente na porção norte e extremo sul da área, representa as áreas planas de baixa altitude; a 2 são as altas declividades, distribuídas por toda a área, mas principalmente próximo às bordas do limite do parque; a 3 é a área mais plana e de maiores altitudes, no centro da área e; a 4 é representada pelos relevos intermediários, ondulados, localizados na porção leste do parque.

A associação dos compartimentos com as formações vegetais encontradas na área indica que elas se apresentam bastante setorizadas nas unidades da paisagem (Figura 5): a formação florestal se concentra basicamente na unidade 1, nas áreas planas mais baixas, e próxima aos vales encaixados à sul. A savânica se concentra na unidade 4 e a campestre na unidade 3. Nesse sentido, Bispo (2007) salienta que a altitude do relevo é um parâmetro essencial para discriminar as classes de vegetação, pois está relacionado com os solos e com a disponibilidade hídrica que são essenciais para a classificação da vegetação (FONSECA e SILVA JÚNIOR, 2004). Assim, no PNCV a vegetação, o solo e a geomorfologia estão intrinsecamente associadas, pois as fitofisionomias campestres estão relacionadas à planaltos de solos hidromórficos, sendo as fitofisionomias de Campo Rupestre presentes nas bordas dos planaltos no decorrer dos vales com afloramentos de rochas (CARVALHO JÚNIOR *et al.*, 2015).

Figura 5 – Composição colorida falsa cor R (altitude) G (declividade) B (aspecto).

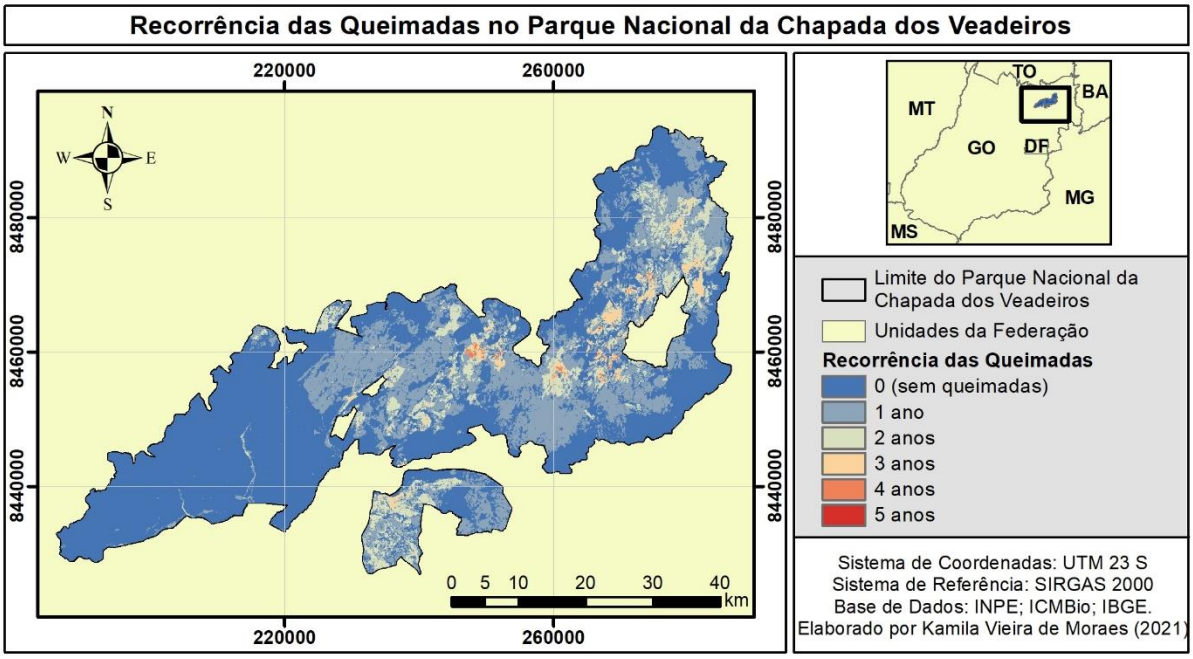


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Por meio do somatório das cicatrizes de área queimada durante os sete anos analisados (2011, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 e 2019) – Figura 6, os resultados mostraram que não houve ocorrência de fogo em todos os anos analisados em nenhum local, sendo 5 anos a recorrência máxima. Além disso, as recorrências de três a cinco anos se referem a pequenas áreas fragmentadas. Outro resultado verificado é que boa parte da porção oeste/sudoeste do parque não sofreu ocorrências significativas de queimadas, localizadas na unidade 3, que provavelmente tem maior quantidade de água circulando no sistema, uma vez que é plana com altitudes intermediárias. Isso ocorreu também com segmentos à sudeste, próximos das bordas do PNCV, que estão associados à uma topografia mais elevada e à formações florestais relacionadas a cursos d'água, como Matas Ciliares e Matas de Galeria, por exemplo.

Nesse sentido, Souza e Vale (2019) apontam que as características da vegetação podem interferir na velocidade de propagação do fogo, pois o tipo de combustível pode potencializá-lo ou retardá-lo, uma vez que as fitofisionomias apresentam diferentes quantidades, composição e consumo do material combustível (SCHMIDT *et al.*, 2018). Ademais, o grau de umidade do solo também influencia a propagação do fogo, pois solos mais úmidos tendem a esquentar menos (COSTA e RODRIGUES, 2015), o que está relacionado com as características das unidades da paisagem. Por outro lado, as queimadas de um único ano foram as predominantes no parque, seguidas das queimadas de dois anos que cobrem grande parte da área central, sul e leste do PNCV.

Figura 6 – Recorrência das Queimadas no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (2011-2019)[1]



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

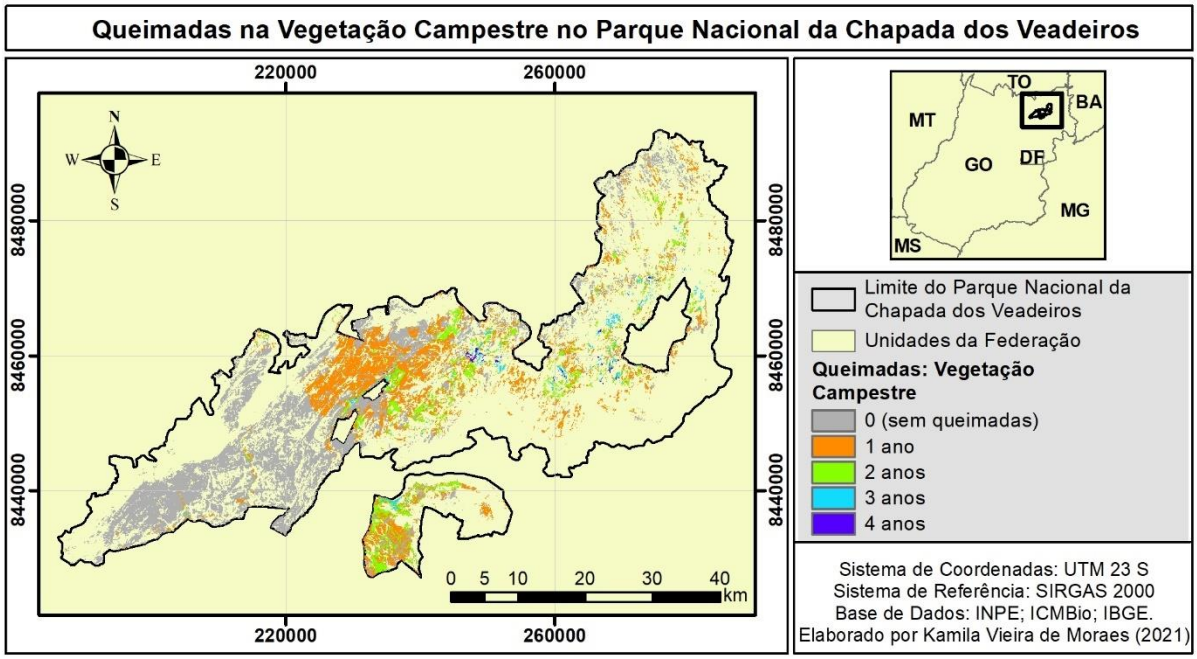
As análises das formações vegetais associadas às áreas queimadas demonstram que, na formação campestre (Figura 7) a maior recorrência do fogo é de 3 e 4 anos, em pequenas áreas. Por outro lado, a recorrência de 1 ano prevaleceu na região central do parque, na unidade 3, em área contínua. No entanto, há uma extensa porção à sudoeste que não manifesta a ocorrência de queimadas na vegetação campestre.

Embora na região do PNCV a maioria das pastagens seja de origem natural, utilizadas para a pecuária extensiva, o uso de práticas tradicionais com fogo para preparar o solo e favorecer a rebrota do capim são comuns, provocando riscos de propagação do fogo de forma descontrolada e que pode atingir diversas áreas sensíveis (TSN, 2009). Nesse sentido, Fidelis *et al.* (2018) salientam que as fisionomias abertas do Cerrado estão sendo utilizadas como pastagens nativas e sendo queimadas anual ou semestralmente por pecuaristas durante o período de escassez de ração a fim de promover a rebrota para suprir a demanda alimentar dos animais. Além disso, em atividades pecuaristas intensivas, a vegetação nativa é normalmente removida para a introdução de gramíneas africanas mais produtivas (PIVELLO, 2011), o que pode ocasionar mudanças no comportamento e no regime de fogo impactando a regeneração das espécies nativas, pois locais com a presença de espécies invasoras podem exibir chamas e

[1] Com exceção dos anos de 2012 e 2016 que não haviam dados disponíveis.

temperaturas mais elevadas e com maior tempo de residência do fogo (GORGONE-BRBOSA *et al.*, 2016).

Figura 7 – Queimadas na formação Campestre no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (2011-2019)[1]



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A maior parte da área do PNCV é recoberta por formações savânicas (Tabela 3), sendo essa a vegetação mais atingida por eventos de queimadas, com a mais alta recorrência, de 5 anos que consistem em áreas bastante reduzidas, podendo se referir a erros de classificação das imagens com dados de área queimada, uma vez que, de acordo com Correia *et al.* (2007), isso pode acontecer em classificações semiautomáticas em imagens provindas de sensoriamento remoto, como é o caso do produto aqui utilizado.

Já a recorrência de 4 anos de áreas queimadas em formações savânicas acontece em pequenas porções, geralmente associadas à recorrência de 3 anos, que são pouco maiores em extensão, como pode ser observado na Figura 8. Diferentemente disso, as de 2 e 1 ano somam grande parte da área queimada do parque, sobretudo, as queimadas de 1 ano. No entanto, as áreas que não passaram por episódios de queimas configuram a maior área do PNCV dentro desta formação, como pode ser observado na Tabela 3.

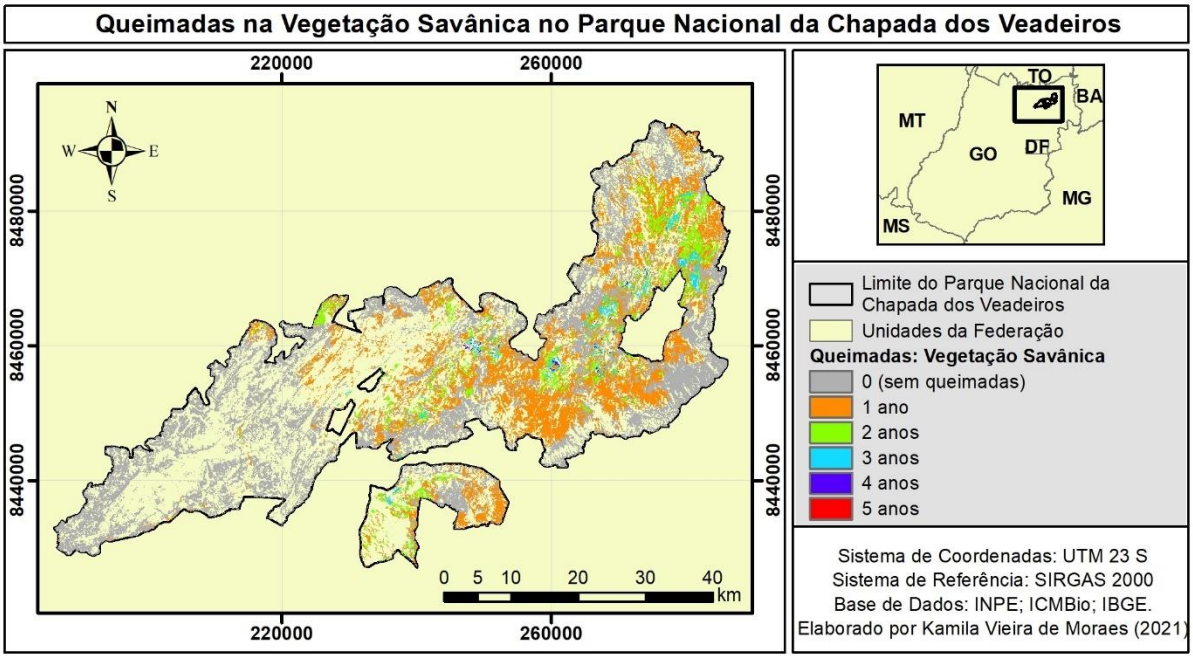
Tabela 3 – Área Queimada por Vegetação

Ocorrência de Queimadas	Campestre		Savânica		Florestal	
	Área (km²)	**Área (%)**	**Área (km²)**	**Área (%)**	**Área (km²)**	**Área (%)**
0	421,1	56,3	724,7	56,2	241,1	83,0
1	233,1	31,2	421,8	32,7	43,4	14,9
2	76,8	10,3	115,2	8,9	6,0	2,1
3	13,4	1,8	24,3	1,9	0,1	0,04
4	3,2	0,4	2,6	0,2	Não queimou	
5	Não queimou		0,03	0,0	Não queimou	
Total	**747,6 km²**	**100%**	**1288,6 km²**	**100%**	**290,6 km²**	**100%**

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Nesse sentido, a maior recorrência e extensão da área queimada na vegetação savânica pode estar relacionada com a propensão ao fogo devido à existência de árvores e arbustos dispersos sobre um estrato graminoso (RIBEIRO e WALTER, 2008; SCHMIDT *et al.*, 2018). Por outro lado, embora o fogo seja um fator importante para ambientes savânicos, pois nesses ecossistemas as espécies reagem de forma positiva a um regime de fogo natural (MYERS, 2006; SCHIMIDT *et al.*, 2016a), a elevada intensidade e recorrência se tornam uma importante perturbação, gerando danos como a perda da biodiversidade, maior suscetibilidade à processos erosivos (importante fato dada sua localização na unidade 4), aumento na emissão de aerossóis e de gases de efeito estufa, além dos danos ao solo com a compactação e diminuição da umidade, da biota e dos nutrientes edáficos (ROCHA *et. al.*, 2021).

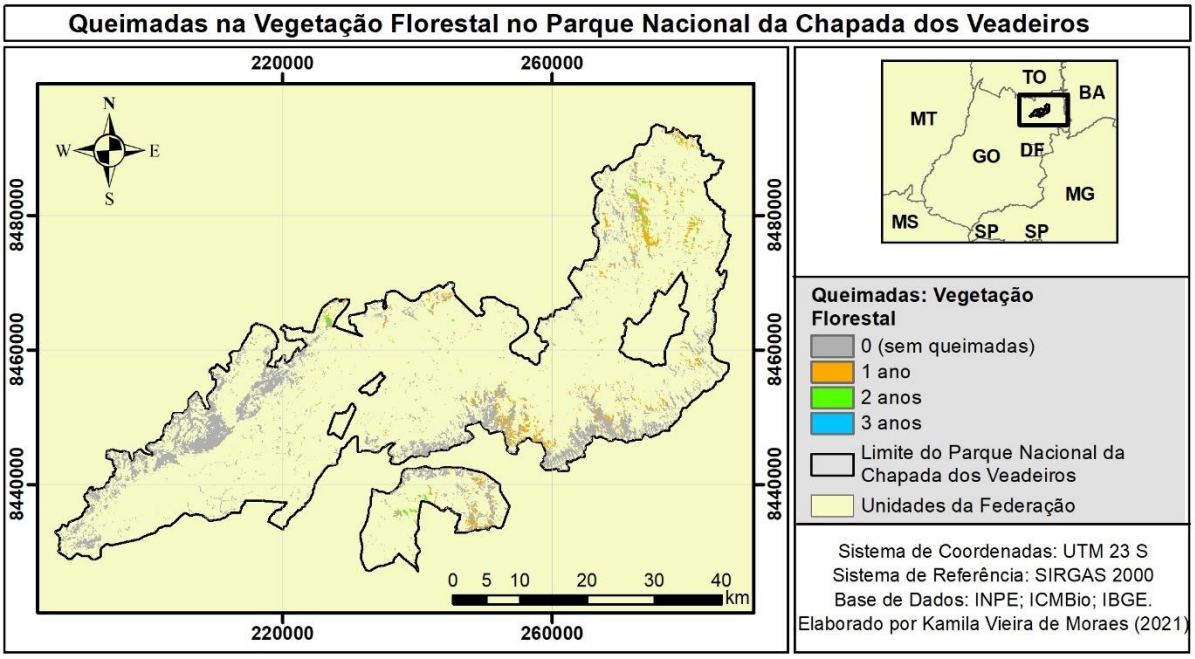
Figura 8 – Queimadas na formação Savânica no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (2011-2019)[1]



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na Figura 9 é verificado que, diferentemente das demais formações, as fitofisionomias florestais apresentaram recorrência de fogo máxima de apenas 3 anos, sendo bastante reduzidas em área, evidenciando a baixa vocação à queimadas dessa formação. Além do mais, de modo geral, a formação florestal queimou em áreas específicas à nordeste e nas bordas norte e sul do parque, que podem estar associadas à proximidade com áreas planas no perímetro externo do parque ocupadas por pastagens, por exemplo. Dessa forma, a maior parte da área florestal do PNCV não passou por ocorrências de fogo durante os anos analisados, como observado na Tabela 3.

Figura 9 - Queimadas na Vegetação Florestal no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros (2011-2019)[1]



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Posto isso, Pivello (2011) explica que, no Brasil, a maioria dos tipos de vegetação está submetida à ocorrência de incêndios, ainda que em diferentes intensidades. Assim, de acordo com a autora, as florestas tropicais, semidecíduas e secas, arbustos, savanas e pastagens são queimadas pelo ser humano com diferentes objetivos, mesmo que a capacidade de combustão delas seja muito distinta. No caso do Cerrado, são predominantes as formas de vegetação típicas de Savana, com paisagens abertas e cobertura de gramíneas que são mais propensas ao fogo, diferentemente das florestas que queimam devido à elevada intensidade dos incêndios e não por sua predisposição ao fogo (RAMOS-NETO e PIVELLO, 2000).

A partir da compreensão do comportamento das formações no contexto da presença de queimadas, os resultados da análise multitemporal do NDVI acumulado evidenciaram que a recuperação da vegetação campestre (Tabela 4) após os eventos de queima foi hábil, mesmo apresentando recorrência de queimadas de até 4 anos. Isso porque ao observar a porcentagem de diminuição do NDVI em relação ao T0 – valor de referência do NDVI (ausência de queimadas), a maior amplitude é de apenas 3,3% em dois anos de queima, a mais baixa se comparada com as fitofisionomias savânicas e florestais. Além disso, por meio do cálculo do desvio padrão dos valores acumulados de NDVI, é possível constatar a alta homogeneidade dos dados nas áreas campestres, cuja dispersão foi de apenas 0,3.

Tabela 4 – NDVI Acumulado da Vegetação Campestre

Tempo	**Ocorrência de Queimadas**	**Campestre**		
		NDVI acumulado	**% NDVI em relação ao T0**	**% de diminuição em relação ao T0**
T0	0	26,3	100	0
T1	1	26,0	98,9	1,0
T2	2	25,4	96,6	3,3
T3	3	25,8	98,1	1,8
T4	4	25,7	97,5	2,4
T5	5	Não queimou		
		Desvio Padrão = 0,3	**Maior amplitude (%)** = 3,3	**Média de diminuição (%)** = 2,1

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Em relação à formação savânica (Tabela 5), é possível observar que houve maior variação dos valores de NDVI comparados com os da vegetação campestre, chegando a marcar 11,2% de diferença ao valor do NDVI sem ocorrência de queimadas, com desvio padrão de 1,1. Uma explicação para isso é que a maior parte do PNCV é composto por formação savânica (Tabela 3), portanto, está mais sujeita a ocorrência de queimadas. Além do que, nas fisionomias de estrato herbáceo bem desenvolvido, como nas áreas de vegetação campestre e savânica, há elevada produção de biomassa na estação chuvosa que é convertida em combustível vegetal no período da estiagem, contribuindo para a ocorrência de queimadas (MIRANDA *et al.*, 2009). Contudo, formações campestres e savânicas tendem a se recuperar rápido após eventos de queima devido ao alto grau de suporte ao fogo e à seca em razão das suas características, com cascas grossas e extensos órgãos subterrâneos, como rizomas e xilopódios (COUTINHO, 2002; MIRANDA *et al.*, 2009), além da elevada capacidade de rebrota (SOUCHIE *et al.*, 2017; DURIGAN *et al.*, 2020).

Tabela 5 – NDVI Acumulado da Vegetação Savânica

Tempo	**Ocorrência de Queimadas**	**Savânica**		
		NDVI acumulado	**% NDVI em relação ao T0**	**% de diminuição em relação ao T0**
T0	0	29,2	100	0
T1	1	27,9	95,7	4,2
T2	2	26,8	91,9	8,0
T3	3	26,8	91,8	8,1
T4	4	25,9	88,7	11,2
T5	5	27,6	94,7	5,2
		Desvio Padrão = 1,1	**Maior amplitude (%)** = 11,2	**Média de diminuição (%)** = 7,3

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

No que diz respeito às fitofisionomias florestais (Tabela 6), houve ainda maior diferença entre os valores de NDVI ao longo dos eventos de fogo em relação ao NDVI de referência, apresentando quase 17% de disparidade em 3 episódios de queimas e com desvio padrão de 2,6, correspondendo, portanto, ao tipo de vegetação que manifestou a maior amplitude na diferença dos valores de NDVI e do desvio padrão, mesmo sendo a fitofisionomia que menos teve recorrência de queimadas, ressaltando, assim, a distinta capacidade de recuperação/ resiliência dos tipos fitofisionômicos do Cerrado.

Pertinente a isso, Schmidt *et al.* (2018) explicam que a capacidade regenerativa das espécies florestais é diferente, uma vez que estas são sensíveis aos efeitos do fogo, pois se submetidas à mesma frequência de queima das espécies adaptadas, a vegetação florestal pode sofrer transformações estruturais com a diminuição da densidade e da biomassa arbórea (DURIGAN *et al.*, 2020). Portanto, é proporcional o aumento dos valores do desvio padrão do NDVI com o aumento do estrato da vegetação, como nas fitofisionomias florestais que não são adaptadas ao fogo. Por outro lado, nas fitofisionomias campestre e savânicas o suporte à eventos de queimadas é maior, conseguindo recuperar a biomassa, demonstrando isso por meio da proximidade dos valores de NDVI mesmo durante episódios de mais de um ano de queima.

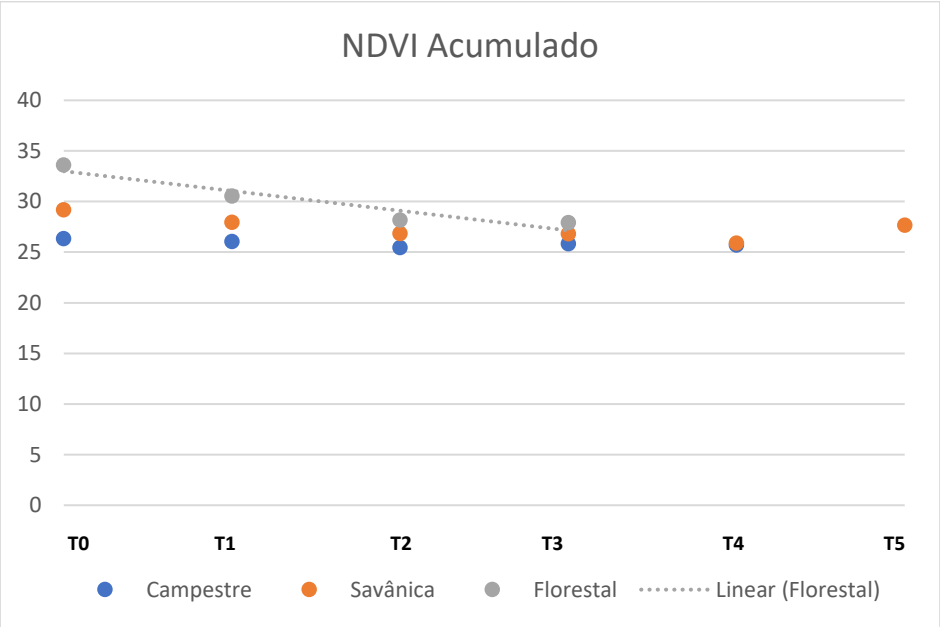
Tabela 6 – NDVI Acumulado da Vegetação Florestal

Tempo	**Ocorrências de Queimadas**	**Florestal**		
		NDVI acumulado	**% NDVI em relação ao T0**	**% de diminuição em relação ao T0**
T0	0	33,6	100	0
T1	1	30,5	90,8	9,1
T2	2	28,1	83,7	16,2
T3	3	27,9	83,0	16,9
T4	4	Não queimou		
T5	5	Não queimou		
		Desvio Padrão = 2,6	**Maior amplitude (%)** = 16,9	**Média de diminuição (%)** = 14,1

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

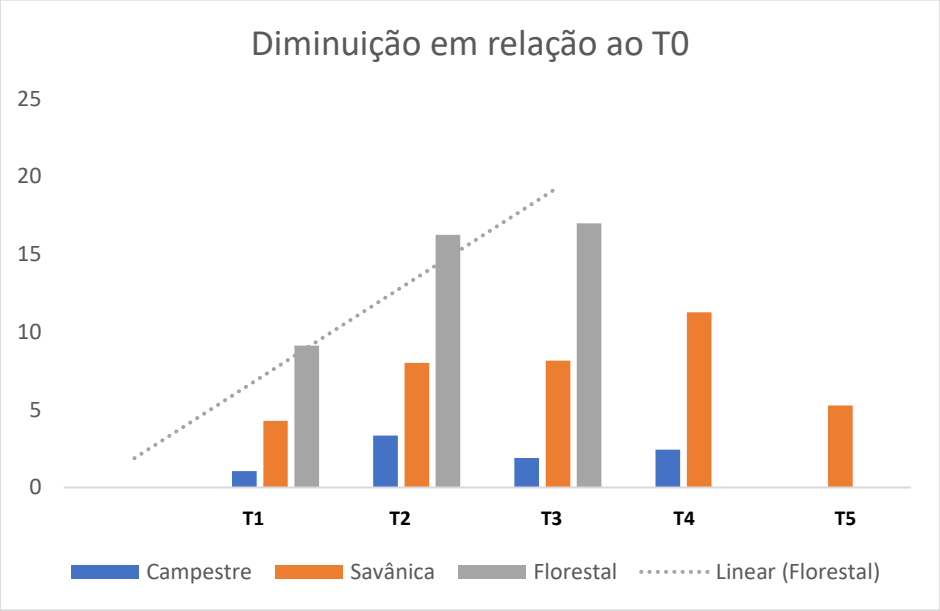
Os gráficos a seguir demonstram a tendência do NDVI aumentar ou diminuir mediante eventos de fogo pertinentes ao longo do período analisado (Gráficos 1 e 2). Por fim, os resultados mostram que as formações campestres apresentam a mais alta resiliência em relação a eventos de fogo; a formação savânica é a que mais apresentou ocorrências de queimadas e possui resiliência intermediária no contexto do trabalho e; a formação florestal, apesar de ter menor ocorrência de fogo, é a que apresenta a menor resiliência. Por outro lado, é importante ressaltar as limitações da análise multitemporal do NDVI por meio das imagens MODIS, cuja resolução espacial de 250m interfere na precisão do imageamento da superfície, além disso, o uso de composições temporais pode acarretar na supressão de informações importantes devido a influência dos ruídos e dos componentes atmosféricos nas imagens (SANTANA, 2016).

Gráfico 1 – NDVI Acumulado da Vegetação: Linha de Tendência Vegetação Florestal



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Gráfico 2 – Diminuição dos valores de NDVI em relação ao T0 da Vegetação: Linha de Tendência Vegetação Florestal



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da pesquisa realizada, conclui-se que o método de análise do NDVI acumulado demonstra ser eficiente para avaliar e comprovar a capacidade de suporte das fitofisionomias do Cerrado após a incidência de fogo, pois minimiza valores discrepantes que podem subestimar ou superestimar os resultados de NDVI, principalmente em ambientes onde as condições climáticas variam expressivamente, como no caso do Cerrado, que possui elevada sazonalidade, marcada por dois períodos muito distintos, seca intensa ou precipitação frequente.

Nesse sentido, a análise sistêmica da paisagem da região por meio dos aspectos morfométricos, alinhados a ocorrência da vegetação e do fogo, foi importante para o reconhecimento dos processos físicos que determinam as características da vegetação e que influenciam na capacidade de resiliência ao fogo ou ainda a sua predisposição a queimadas. Além disso, demonstrou a forte relação entre relevo e a vegetação apresentados pela compartimentação da paisagem.

Portanto, embora a pesquisa manifeste algumas limitações (ex: não se apresenta qual é a frequência em que as queimadas ocorrem, se são queimadas consecutivas ou não, além da ausência dos dados dos anos de 2012 e 2016), o método indicou, principalmente, que a ocorrência de fogo recorrente em fitofisionomias florestais pode afetar a resiliência dessa vegetação, mesmo que possua recorrência menor que nas fitofisionomias campestre e savânicas, o que pode alterar a estrutura da vegetação e interferir na disponibilidade dos recursos naturais desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BA, R.; SONG, W.; LI, X.; XIE, Z.; LO, S. *Integration of Multiple Spectral Indices and a Neural Network for Burned Area Mapping Based on MODIS Data*. ***Remote Sensing,*** 11(3), 326, p. 1-26, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs11030326. Acesso em: 29 mar. 2021.

BARRADAS, A. C. S.; BORGES, M. A.; COSTA, M. M.; RIBEIRO, K. T. Paradigmas da Gestão do Fogo em Áreas Protegidas no Mundo e o Caso da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v.10, n.2, p. 71-86, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v10i2.1474. Acesso em: 29 mar. 2021.

BISPO, P. C. Dados geomorfométricos como subsídio ao mapeamento da vegetação. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**: São José dos Campos, 120 p., 2007. Disponível em: http://mtc-

m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.18.13.11/doc/publicacao.pdf. Acesso em: 02 dez. 2021.

BORGES, K. M. R.; OROZCO FILHO, J. C.; COAN, G. P. O.; VASCONCELOS. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Subsídio ao Manejo do Fogo e ao Combate aos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação Federais. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 168-178, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v11i2.1685. Acesso em: 23 out. 2021.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; GOMES, R. A. T. Chapada dos Veadeiros: *The Highest Landscapes in the Brazilian Central Plateau.* In: Vieira B.; Salgado A.; Santos L. (Ed.). ***Landscapes and Landforms of Brazil***. *World Geomorphological Landscapes. Springer, Dordrecht.* Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_20. Acesso em: 25 nov. 2021.

CHEN, W.; MORIYA, K.; SAKAI, T.; KOYAMA, L.; CAO, C. X. *Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods.* ***Geomatics, Natural Hazards and Risk,*** v. 7, n. 1, p. 384-402. 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2014.925982. Acesso em: 27 mar. 2021.

CORREIA, V. R. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S.; WERNECK, G. L. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, n. 5 p. 1015-1028, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007000500004. Acesso em: 19 out. 2021.

COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Efeito do fogo sobre vegetação e solo a partir de estudo experimental em ambiente de Cerrado. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 30, p. 149-165, 2015. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/101686. Acesso em: 19 out. 2021.

COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. In: **Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois**. KLEIN, A. L. (Org.). São Paulo: Editora UNESP, Imprensa Oficial do Estado, p.77-92, 2002. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=17841. Acesso em: 02 dez. 2021.

DIAS, B. F. S.; MIRANDA, H. S. O Projeto Fogo. In: **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo**. MIRANDA, H. S. (Org.). Brasília: Ibama, p.15-22, 2010. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdoregimedofogodigital.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

DURIGAN, G.; PILON, N. A. L.; ABREU, R. C. R.; HOFFMANN, W. A.; MARTINS, M.; FIORILLO, B. F.; ANTUNES, A. Z.; CARMIGNOTTO, A. P.; MARAVALHAS, J. B.; VIEIRA, J.; VASCONCELOS, H. L. *No net loss of species diversity after prescribed fires in the Brazilian Savanna.* ***Frontiers in Forests and Global Change***, v.3, p. 1-13, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00013. Acesso em: 19 out. 2021.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Súmula da X Reunião Técnica da Levantamento de Solos.** Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/327212. Acesso em: 24 nov. 2021.

FALLEIRO, R. M.; SANTANA, M. T.; BERNI, C. R. As contribuições do Manejo Integrado do Fogo para Controle dos Incêndios Florestais nas Terras Indígenas do Brasil. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v.6, n. 2, p. 88-105, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.655. Acesso em: 13 set. 2020.

FERNANDES, A. C. G.; COUTINHO, M. A. N.; SANTOS, V. G.; NASCIMENTO, C. R. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, [S.l.] v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2845. Acesso em: 29 mar. 2021.

FIDELIS, A.; ALVARADO, S. T.; BARRADAS, A. C. S.; PIVELLO, V. R. *The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado.* ***Fire***, 1(3), 49, p. 1-11, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/fire1030049. Acesso em: 29 mar. 2021.

FONSECA, M. S.; SILVA JÚNIOR, M. C. Fitossociologia e similaridade florística entre trechos de Cerrado sentido restrito em interflúvio e em vale no Jardim Botânico de Brasília, DF. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 1, p. 19-19, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000100003. Acesso em: 24 out. 2021.

FORNACCA, D.; REN, G.; XIAO, W. *Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China*. ***Remote Sensing***, v. 10, ed. 8: 1196, p. 1-21, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs10081196. Acesso em: 29 mar. 2021.

FRANÇA, S. F., MARTINS, E. S. A dupla face dos polígonos que configuram, ambiental e historicamente, a microrregião da Chapada dos Veadeiros. **Finisterra,** [S. l.], v. 55, n. 113, p. 175–194, 2020. Disponível em: https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/16975. Acesso em: 13 out. 2021.

GANDHI, G. M.; PARTHIBAN, S.; THUMMALUD, N.; CHRISTY, A. NDVI: *Vegetation change detection using remote sensing and GIS: A case study of Vellore district.* ***Procedia Computer Science***, v. 57, p. 1199-1210, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415. Acesso em: 28 mar. 2021.

GORGONE-BARBOSA, E.; PIVELLO, V. R.; RISSI, M. N.; ZUPO, T.; FIDELIS, A. A Importância da Consideração de Espécies Invasoras no Manejo Integrado do Fogo. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 27-40, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.522. Acesso em: Acesso em: 13 set. 2020.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, E. S.; DRUCK, S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SANTOS, N. B. F.; REATTO, A. Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: I. Bacias hidrográficas assimétricas. **Embrapa Cerrados**: Documentos. Planaltina, Distrito Federal, n. 68, p. 1-25, 2002. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/567988/1/doc68.pdf. Acesso em: 25 nov. 2021.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências: Downloads**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html. Acesso em: 24 nov. 2021.

ICMBIO. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Mapa Temático e Dados Geoestatísticos das Unidades de Conservação Federais**. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-

br/servicos/geoprocessamento/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais. Acesso em: 13 abr. 2021.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. ***Data Cube Explorer***. v2.0.1, 2019-2021. Disponível em: https://brazildatacube.dpi.inpe.br/portal/explore. Acesso em: 20 ago. 2021.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais**. Disponível em: http://www.inpe.br/queimadas. Acesso em: 07 out. 2021.

KIM, Y.; JEONG, M.-H.; YOUM, M.; KIM, J.; KIM, J. *Recovery of Forest Vegetation in a Burnt Area in the Republic of Korea: A Perspective Based on Sentinel-2 Data.* ***Applied Sciences***, v. 11(6) n. 2570, p. 1-16, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app11062570. Acesso em: 29 mar. 2021.

LAZAJ, L. *Burnt areas detection and mapping using vegetation indices.* ***Remote Sensing***, p. 1-7, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11125.78560. Acesso em: 21 mar. 2021.

LAZZARINI, G. M. J.; OLIVEIRA, L. N.; GIONGO, M.; LIMA, W.G.; FEITOSA, T. C S. Avaliação da Eficácia da Implementação de Brigadas Indígenas como Política de Combate a Incêndios Florestais. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p.106-120, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.527. Acesso em: Acesso em: 13 set. 2020.

LOTUFO, J. B. S.; MACHADO, N. G.; TAQUES, L. M.; MÜTZENBERG, D. M. S.; NETO, N. L.; BIUDES, M. S. Índices Espectrais e Temperatura de Superfície em Áreas Queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 648-663, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p648-663. Acesso em: 21 mar. 2021.

MIRANDA, H. S.; NETO, W. N.; NEVES, B. M. C. Caracterização das queimadas de Cerrado. In: **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo**. MIRANDA, H. S (Org.). Brasília: Ibama, p.23-33, 2010. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdoregimedofogodigital.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; NETO, W. N.; AIRES, F. S. *Fires in the Cerrado, the Brazilian savanna.* In: ***Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics***. COCHRANE, M. A. (Ed.). Springer Berlin Heidelberg, p.427-450, 2009.

MYERS, R. L. Convivendo com o Fogo: Manutenção dos Ecossistemas e Subsistência com o Manejo Integrado do Fogo. ***The Nature Conservancy***: Tallahassee. Tradução Margaret Batalha. 2006.

OLIVEIRA, V. F. R.; SILVA, E. R. S.; SILVA, B. H. M.; VICK, E. P.; LIMA, C. G. R.; BACANI, V. M. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 13, n. 3, p. 1194-1212, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1194-1212. Acesso em: 29 mar. 2021.

PEREIRA, A. A.; TEIXEIRA, F. R.; LIBONATI, R.; MELCHIORI, E. A.; CARVALHO, L. M. T. Avaliação de Índices Espectrais Para Identificação de Áreas Queimadas no Cerrado Utilizando Dados Landsat TM. **Revista Brasileira de Cartografia**: Rio de Janeiro, v. 68, n. 8, p.1665-1680, 2016. Disponível em: http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44386. Acesso em: 21 mar. 2021.

PIO, F. P. B.; VIEIRA, E. M. Determinação das Áreas Atingidas por Queimadas em Bacias Hidrográficas por meio do Índice De Queimada (NBR), Estudo de Caso da Bacia do Rio Piracicaba-MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 87-101, fev. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p087-101. Acesso em: 29 mar. 2021.

PIVELLO, V. R. *The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present.* ***Fire Ecology***, 7, p. 24-39, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024. Acesso em: 19 out. 2021.

PROJETO MAPBIOMAS. **Uso e Cobertura da Terra: Coleção 5 – Cerrado 2019**. Disponível em: https://mapbiomas.org/. Acesso em: 29 abr. 2021.

RAMOS, R. M.; FONSECA, R. L.; MORELLO, T. F. Unidades de conservação e proteção contra incêndios florestais: relação entre focos de calor e ações articuladas pelas brigadas contratadas. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 135-148, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.558. Acesso em: 23 set. 2021.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R**.** *Lightning fires in a Brazilian savanna national park: rethinking management strategies*. ***Environmental Management***, 26: 6, p. 675-684, 2000. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s002670010124. Acessado em: 19 out. 2021.

REZENDE FILHO, J. R. G. Análise multitemporal de vegetação em ecossistemas de áreas úmidas utilizando séries temporais derivadas do sensor MODIS na Ilha do Bananal – Tocantins. Dissertação (Mestrado em Geografia), **Universidade de Brasília**, Brasília, 79 p., 2017. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/24034. Acesso em: 16 out. 2021.

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, p. 87-166, 2008.

RIBEIRO, L. S.; FRANCO, J. L. A.; CUNHA, A. A. O título de Patrimônio Natural da Humanidade e a conservação da biodiversidade: o caso do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, p. 292-311, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5380/dma.v56i0.67691. Acesso em: 13 out. 2021.

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 1220-1235, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244925. Acesso em: 19 out. 2021.

SAMPAIO, A. B.; BERLINCK, C. N.; MIRANDA, H.; SCHMIDT, I. B.; RIBEIRO, K. T. Editorial: Manejo de fogo em áreas protegidas. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v.6, n.2, p. 1-3, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.653. Acesso em: 13 set. 2020.

SANTANA, N. C. Monitoramento de Queimadas no Sudoeste do Pará, a partir de séries temporais do sensor MODIS. Tese (Doutorado em Geografia), **Universidade de Brasília**, Brasília, 63 p., 2016. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/20086. Acesso em: 25 nov. 2021.

SARVIA, F.; DE PETRIS, S.; BORGOGNO-MONDINO, E. *Exploring Climate Change Effects on Vegetation Phenology by MOD13Q1 Data: The Piemonte Region Case Study in the Period* 2001–2019. ***Agronomy,*** 11(3), 555, p. 1-16, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy11030555. Acesso em: 16 out. 2021.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO M. N. Experiências Internacionais de Manejo Integrado do Fogo em Áreas Protegidas – Recomendações para Implementação de Manejo Integrado de Fogo no Cerrado. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n.2, p.41-54, 2016a. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.586. Acesso em: 13 set. 2020.

SCHMIDT, I. B.; FONSECA, C. B.; FERREIRA, M. C.; SATO M. N**.** Implementação do Programa Piloto de Manejo Integrado do Fogo em três Unidades de Conservação do Cerrado. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 55-70, 2016b. Disponível em: https://doi.org/10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.656. Acesso em: 13 set. 2020.

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY, L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINK, C. N. *Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward.* ***Journal of Applied Ecology***, 55: p. 2094–2101, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1111/1365-2664.13118. Acesso em: 21 mar. 2021.

SILVA, F. C. S.; PINHEIRO, F. R.; SOUZA, I. V.; DUARTE, V. B. R.; SILVA, M. V. C. DA; PORTELLA, A. C. F.; GIONGO, M. Técnicas de sensoriamento remoto para delimitação de áreas queimadas no Tocantins através do processamento digital de imagens Landsat 8-TM. ***Journal of Biotechnology and Biodiversity***, v. 8, n. 1, p. 6-11, maio 2020. Disponível em: https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n1.silva. Acesso em: 29 mar. 2021.

SILVA, F. S.; PESTANA, A. L. M.; MARTINS, L. S. Sensoriamento Remoto Para Detecção de Queimadas no Cerrado Maranhense: Uma Aplicação no Parque Estadual do Mirador. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 2, p. 90-195, 2019. Disponível em: https://revista.ufrr.br/rga/article/view/5759. Acesso em: 29 mar. 2021.

SMIRAGLIA, D.; FILIPPONI, F.; MANDRONE, S.; TORNATO, A.; TARAMELLI, A. *Agreement Index for Burned Area Mapping: Integration of Multiple Spectral Indices Using Sentinel-2 Satellite Images.* ***Remote Sensing***, v. 12 (11), 1862, p. 1-17, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs12111862. Acesso em: 29 mar. 2021.

SOUCHIE, F. F.; RODRIGUES PINTO, J. R.; LENZA, E.; GOMES, L.; MARACAHIPES-SANTOS, L.; SILVÉRIO, D. V. *Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna.* **Acta Botanica Brasilica**, v. 31, n. 2, p. 260-266, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0376. Acesso em: 19 out. 2021.

SOUZA, M. A.; VALE, A. T. Levantamento de plantas de baixa inflamabilidade em áreas queimadas de Cerrado no Distrito Federal e análise das suas propriedades físicas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 181-192, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.5902/1980509822416. Acesso em: 29 mar. 2021.

TSN. TRANSMISSORA SUDESTE NORDESTE S/A. **Plano de Manejo Parque Nacional Chapada dos Veadeiros**. Encarte I, 2009. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/pm_chapada_dos_veadeiros_1.pdf. Acesso em: 13 out. 2021.

USGS. *UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*. ***EarthExplorer***. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/. Acesso em: 26 set. 2021.

WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. Diversidade fitofisionômica e o papel do fogo no bioma Cerrado. In**: Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades de Cerrado: Projeto Fogo**. MIRANDA, H. S. (Org.). Brasília: Ibama, p.59-76, 2010. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/efeitosdoregimedofogodigital.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.