

Padrões e tendências espaço-temporais da ocorrência de queimadas no Cerrado entre 1999 e 2018

Patterns and space-time trends of the occurrence of fires in the Cerrado between 1999 and 2018

Patrones y tendencias tiempo espacial de la ocurrencia de incendios en el Cerrado entre 1999 y 2018



Maíra Iaê Savioli Rocha

Universidade Estadual de Goiás - Goiás - Brasil

mairaa.savioli@gmail.com



Diego Tarley Ferreira Nascimento

Universidade Federal de Goiás - Goiás - Brasil

diego_nascimento@ufg.com

Resumo: As queimadas são corriqueiramente empregadas no bioma Cerrado para renovação de pastagens e limpeza de terrenos agrícolas. Todavia, o seu uso também se encontra associado ao desmatamento e à implantação de atividades agropecuárias. Nesse sentido, tem-se por objetivo, no presente trabalho, prover o mapeamento e a conseguinte análise dos padrões espaciais e das tendências temporais de ocorrência de queimadas no bioma Cerrado registradas entre 1999 e 2018. Para tanto, os focos de queimadas provenientes do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas/INPE) foram contabilizados segundo as microrregiões definidas pelo IBGE e analisados a partir de atributos espaciais, de estatísticas de autocorrelação espacial e pela ferramenta Emerging Hot Spot Analysis. Os resultados demonstraram concentração

e alta associação espacial dos focos de queimadas em microrregiões situadas junto aos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (região do MATOPIBA), além do Mato Grosso (Arco de Desmatamento) e norte de Goiás, regiões notadamente reconhecidas como fronteiras de expansão das atividades agrícolas no bioma.

Palavras-chave: Fogo. Bioma. Autocorrelação. Hot Spot.

Abstract: Fires are commonly used in the Cerrado biome to renovate pastures and clean agricultural land. However, its use is also associated with deforestation and the implementation of agricultural activities. In this sense, the objective of this work is to provide the mapping and subsequent analysis of spatial patterns and temporal trends in the occurrence of fires in the Cerrado biome recorded between 1999 and 2018. For this purpose, the fire outbreaks for Fire Database (BDQueimadas/INPE) were counted according to the microregions defined by the IBGE and analyzed using spatial attributes, spatial autocorrelation statistics and the Emerging Hot Spot Analysis tool. The results showed concentration and high spatial association of fire outbreaks in micro-regions located near the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia (MATOPIBA region), in addition to Mato Grosso (Deforestation Arch) and northern Goiás, regions notably recognized as frontiers of expansion of agricultural activities in the biome.

Keywords: Fire. Biome. Autocorrelation. Hot Spot.

Resumen: Los incendios se utilizan comúnmente en el bioma del Cerrado para renovar pastos y limpiar tierras agrícolas. Sin embargo, su uso también está asociado con la deforestación y la implementación de actividades agrícolas. En este sentido, el objetivo de este trabajo es brindar el mapeo y posterior análisis de los patrones espaciales y tendencias temporales en la ocurrencia de incendios en el bioma del Cerrado registrados entre 1999 y 2018. Para ello, se contaron las fuentes de fuego de la Base de Datos de Incendios (BDQueimadas / INPE) según las microrregiones definidas por el IBGE y analizadas mediante atributos espaciales, estadísticas de autocorrelación espacial y la herramienta Emerging Hot Spot Analysis. Los resultados mostraron concentración y alta asociación espacial de focos de incendios en microrregiones ubicadas cerca de los estados de Maranhão, Tocantins, Piauí y Bahía (región de MATOPIBA), además de Mato Grosso (Arco de Deforestación) y el norte de Goiás, regiones notablemente reconocidas como fronteras de expansión de las actividades agrícolas en el bioma.

Palabras clave: Fuego. Bioma. Autocorrelación. Punto caliente.

Introdução

A apropriação do Cerrado, sobretudo a partir das atividades agropecuárias, tem resultado em impactos que, de forma diversificada, ameaçam a existência de toda biodiversidade do bioma. O Cerrado, reconhecido como celeiro mundial para o agronegócio, passa por um processo incomparável de conversão de sua vegetação natural para usos antrópicos, especialmente aqueles relacionados às atividades agrícolas. Nesse cenário, o fogo, que é um elemento formador e regulador das paisagens do Cerrado, passa a ser utilizado de maneira indiscriminada para a renovação de terreno e implantação de atividades agropastoris.

O fogo é um agente ecológico que atua na Terra de maneira sistemática há aproximadamente 400 milhões de anos, influenciando, desde então, a dinâmica do clima terrestre e o desenvolvimento de diversos biomas.

Em um estudo voltado à análise espacial e temporal de queimadas ao longo dos seis biomas brasileiros, Jesus *et al.* (2020) alertam para o fato de que, apesar do maior número de incidência de focos registrados na Amazônia, ao longo da série temporal observada de 2003 a 2017, o Cerrado foi o bioma com maior extensão de área queimada, especialmente nos anos de 2007, 2010 e 2012.

Dados recentemente apresentados pelo Projeto Mapbiomas (2021) apontam o Cerrado como o bioma que teve maior proporção de área queimada (733.851 km²) entre o período de 1985 e 2020, seguido de perto pela Amazônia (690.028 km²) – sendo que juntos estes biomas representam 85% da área queimada no país. O Mapbiomas (2021) ainda indica que no Cerrado 83% das queimadas ocorreram entre julho e outubro e que 57% das áreas queimadas se associam às formações vegetais savânicas e campestres.

Constam também na bibliografia vários estudos voltados exclusivamente para a análise da ocorrência de queimadas no bioma Cerrado, como os conduzidos por Nascimento, Araújo e Ferreira Júnior (2010); Santos, Pereira e Rocha (2014); Araújo (2010, 2015); Santos *et al.* (2018) e Rocha e Nascimento (2021), fazendo uso de dados, recortes temporais e de abordagens distintas – mas que convergem em alguns apontamentos, a saber: a) registros recordes nos anos de 2007 e 2010; b) maior intensidade de ocorrências durante o período de estiagem; e c) maior incidência sob áreas ocupadas por vegetação natural, especialmente

fitofisionomias de vegetação savânica e campestre.

Vale destacar que Araújo, Ferreira e Arantes (2012) apontam a inequívoca relação entre a ocorrência de queimadas no Brasil com as áreas de conversão da vegetação nativa para usos intensivo da terra, em especial nas fronteiras agrícolas do Arco do Desmatamento e outra, mais recente, verificada nas porções norte e nordeste do Cerrado, numa região denominada como MATOPIBA, a partir da junção das siglas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

A partir desta conjuntura, a proposta do trabalho foi a de realizar o mapeamento e a consequente análise dos padrões espaciais e das tendências temporais da ocorrência de queimadas no bioma Cerrado registradas entre 1999 e 2018. O propósito principal do trabalho é o de fornecer insumos que retratem o padrão de como as queimadas estão distribuídas espacialmente e as tendências da variação temporal observadas no contexto do Cerrado.

Localização e breve caracterização da área em estudo

No Brasil central ocorrem três tipos de formações, no que diz respeito à vegetação: florestais, savânicas e campestres. Essas formações formam um mosaico de ecossistemas que corresponde ao que se conhece por Cerrado, considerado como um bioma (RIBEIRO; WALTER, 2008; COUTINHO, 2006). O bioma Cerrado está circunscrito nas latitudes 2°10'53" e 24°48'41" Sul e longitudes 41°39'51" e 60°13'18" Oeste, representando uma área de 2.036.448 km² – o que perfaz 24% da área do país.

O bioma é bastante antigo, considerado em estágio de clímax, e se encontra sobre relevos predominantemente planos, com altitudes variando entre 240 e 1.819m, com o predomínio de latossolos, de considerável profundidade e lixiviação.

Conforme a proposta de classificação dos climas apresentadas por Koppen-Geiger (1961), o Cerrado apresenta o predomínio da tipologia Aw, referente a um clima tropical, com chuva de verão e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C.

Em termos de cobertura e uso do solo, o predomínio no Cerrado, conforme dados de 2018, é ainda de coberturas vegetais naturais (58,7%), representadas por fitofisionomias de formações savânicas (21,5%), florestais (20,9%) e campestres (15,5%). No contexto dos usos antrópicos (41,3%), percebe-se maior presença de pastagens (27,6%), seguida por culturas agrícolas (12,6%) e áreas urbanas (0,4%) (MAPBIOMAS, 2020).

Segundo os mapas anuais de cobertura e do uso do solo no Cerrado elaborados e disponibilizados pelo Projeto Mapbiomas (2020), a dinâmica observada no referido bioma entre o período de 1985 e 2018 demonstra conversão de 12,8% das coberturas vegetais para implantação de atividades agropecuárias, principalmente associada à redução de 7,8% da formação savânica e de 3,4% da formação florestal e ao incremento de 8,5% de áreas de agricultura e de 4,8% de áreas de pastagens.

De maneira geral, a conversão da cobertura vegetal para usos antrópicos impulsionada no Cerrado nas últimas décadas fez com que o bioma fosse reconhecido como uma fronteira agrícola brasileira. Além de pastagens plantadas, atividade antrópica predominante, a produção de grãos (como milho, arroz, soja, feijão e sorgo) é expressiva no bioma, conforme apontam Souza, Martins e Druciaki (2020).

Procedimentos metodológicos

Inicialmente foi realizado o inventário dos arquivos vetoriais de focos de queimadas registrados no Cerrado entre 1999 e 2018, a partir do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas), que é administrado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os arquivos dos focos de queimadas foram dispostos em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), especificamente, o ArcGIS 10.3, sendo, em seguida, quantificados segundo as microrregiões definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A ocorrência dos focos de queimadas foi analisada a partir de atributos espaciais, também denominados como princípios geográficos de análise espacial (tais como localização, distribuição, analogia, conexão, diferenciação, extensão, adjacência, dispersão, ordem e arranjo). De mesma forma, a análise também foi amparada por técnicas estatísticas de autocorrelação espacial

global e local, sendo a primeira baseada no Índice I de Moran, que testa a hipótese nula de aleatoriedade espacial, e a segunda associada aos Indicadores Locais de Associação Espacial (do inglês *Local Indicators of Spatial Association* – LISA), que visam detectar padrões locais de autocorrelação espacial (AMARAL; AMARAL, 2019). Enquanto o Índice de Moran I fornece um único valor que retrata a condição geral de associação espacial de todo o conjunto de dados do fenômeno em investigação, o LISA avalia a dependência de cada localidade com relação à sua vizinhança imediata (ANSELIN, 1995, 1999; NUNES, 2013).

No intuito de identificar padrões espaciais e tendências temporais da ocorrência das queimadas no Cerrado ao longo do período de 1999 a 2018, foi implementada a análise de pontos quentes emergentes, que identifica pontos ou áreas com tendência crescente (*hot spots*) ou decrescente (*cold spots*) de ocorrência de uma determinada variável ou fenômeno.

Para tanto, foi utilizada a ferramenta *Emerging Hot Spot Analysis*, presente no ArcGIS Pro, para agregar os pontos de focos de queimadas segundo uma grade com células de 5km², implementando, assim, um cubo espaço-temporal (*Space Time Cube*), que retrata a disposição de focos de queimadas no espaço e ao longo do tempo.

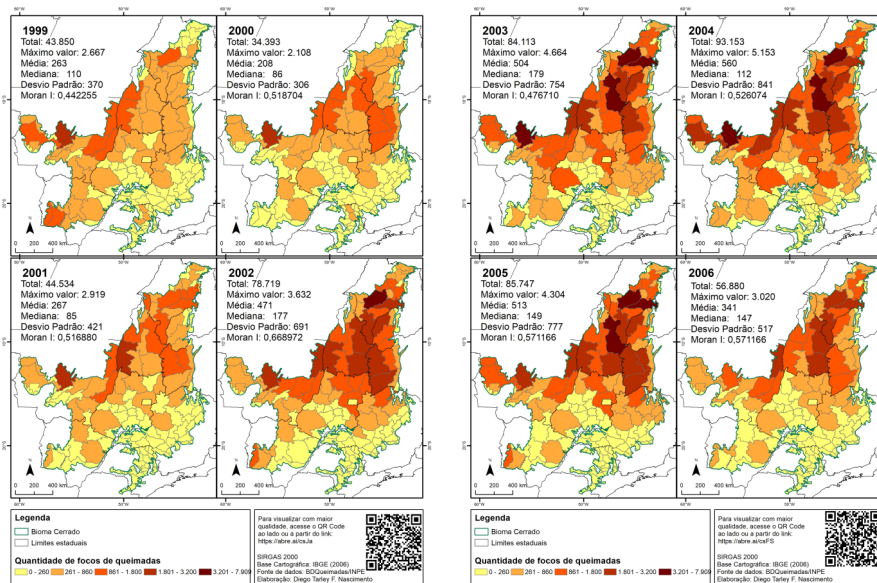
Em seguida, a ferramenta calcula estatísticas *Getis-Ord Gi** para cada compartimento/célula, para indicação de áreas quentes e frias, que são avaliadas em termos de confiança a partir do teste não-paramétrico de tendência de Mann-Kendall. Na sequência, cada célula (tanto quente quanto fria) é caracterizada em termo de ausência ou existência de padrão; no caso de existência, o padrão ainda é categorizado em termos de nova, consecutiva, intensificada, persistente, redução, esporádica, oscilante e histórica tendência de ocorrência.

Resultados e Discussões

Os mapas nas Figuras 1, 2 e 3 representam a distribuição espacial das queimadas no Cerrado entre 1999 e 2018, tendo como base os limites das microrregiões. De fato, percebe-se, em todos os anos, valores positivos do Índice I de Moran, variando entre 0,442255 e 0,728893, o que indica dependência espacial da distribuição de focos de queimadas ao longo das microrregiões no

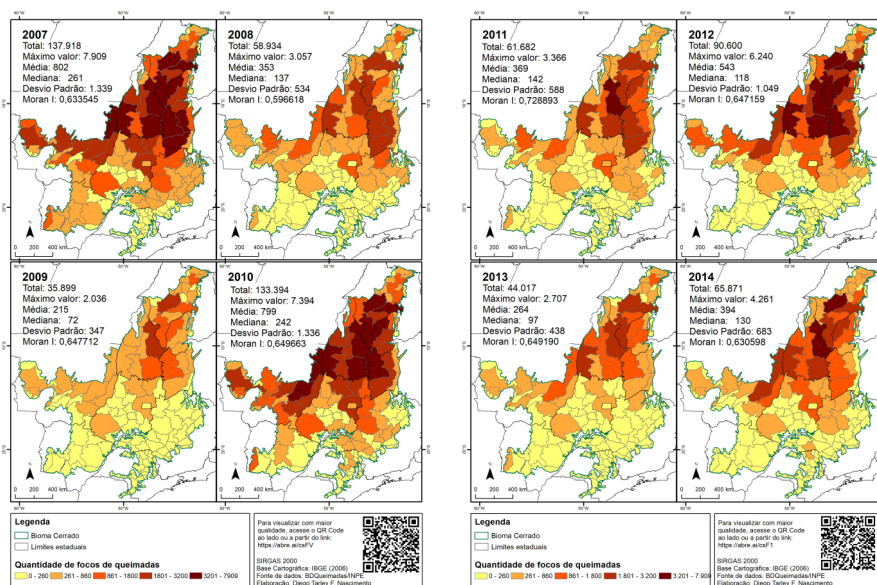
bioma Cerrado, com média a elevada significância estatística, conforme vislumbrado no ano de 2011 (0,728893).

Figura 1 – Quantidade de focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões nos períodos de 1999 a 2002 e de 2003 a 2006



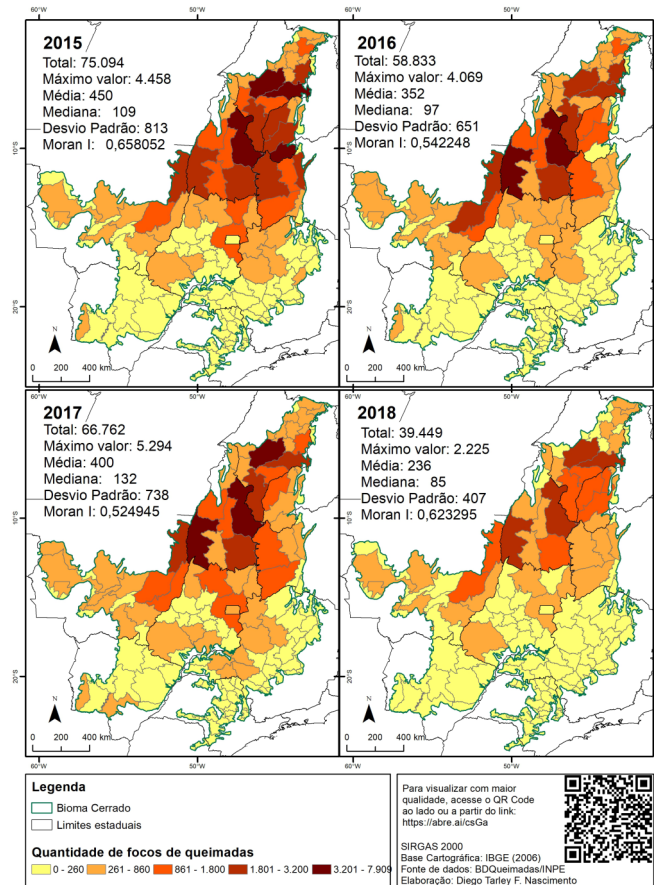
Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organização própria. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acessar os links: <https://abre.ai/csja> e <http://abre.ai/csFS>

Figura 2 – Quantidade de focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões nos períodos de 2007 a 2010 e de 2011 a 2014



Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organização própria. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acessar os links <http://abre.ai/csFV> e <http://abre.ai/csF1>

Figura 3 – Quantidade de focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões (2015 a 2018)



Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organização própria. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acesse o link: <http://abre.ai/csGa>

Nos três primeiros anos (1999 a 2001) se percebe a predominância das duas classes com menores densidades de focos (0 a 260 e 261 a 860 focos) em quase todo o bioma, com sucessivo incremento da classe de menor quantidade de focos (<260). Exceção à essa condição é vista em algumas microrregiões no Mato Grosso, Tocantins e Maranhão, bem como na Bahia, onde foram registradas quantidades superiores a 861 focos de queimadas. Nesse período, merecido destaque deve ser destinado às microrregiões de Alto Teles Pires e Rio Formoso, nos estados do Mato Grosso e Tocantins, respectivamente, que despontam com as maiores quantidades de queimadas, alcançando o valor máximo de 2.919 focos de queimadas, conforme registrado em 2001 na microrregião de Alto Teles Pires - MT.

Entre 2002 e 2005 se observa a diminuição da ocorrência de classes representativas das menores quantidades de queimadas, dando espaço à maior ocorrência de classes com quantidades superiores a 861 focos de queimadas nas microrregiões, sobretudo, no contexto dos estados de Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Bahia e Piauí (junto ao Arco do Desmatamento e à região do MATOPIBA), sendo que foi alcançado o patamar máximo de 5.153 focos, registrado em 2004 na microrregião de Alto Teles Pires - MT.

Em 2006 se observa que houve redução da ocorrência de queimadas no Cerrado, voltando a predominar as classes com menores quantidades de focos (< 860). Naquele ano foi registrado um total de 56.880 focos, com média de 341 e valor máximo de 3.020 queimadas, verificado na microrregião do Jalapão - TO. Mas um cenário inverso se nota no ano seguinte (2007), quando foram registrados 137.918 focos no bioma – o maior registro da série temporal analisada, com média de 802 e máximo valor de 7.909 focos, visto na microrregião de Alto Mearim e Grajaú - MA. Mas valores também bastante elevados podem ser observados junto às microrregiões de Rio Formoso - TO (5.852), Barreiras - BA (5.760), Norte Araguaia - MT (5.671) e Jalapão - TO (5.654).

Nos dois anos seguintes (2008 e 2009) houve, novamente, uma sucessiva diminuição do montante de queimadas no Cerrado, com a classe de quantidade superior a 861 focos se restringindo ao norte do Cerrado, em microrregiões localizadas nos estados do MATOPIBA. O total de queimadas no bioma ocorridas nestes anos refletem a diminuição também das médias e dos máximos valores de ocorrência de focos por microrregiões – conforme as médias 353 e 215 e os máximos valores de 3.057 e 2.036, em 2008 e 2009, respectivamente. O ano seguinte (2010) é o segundo da série temporal com maior registro de focos no Cerrado (133.394), voltando a predominar as classes com maiores quantidades de queimadas, num montante e padrão de distribuição espacial bastante similar ao verificado em 2007.

Nos demais anos da série temporal – 2011 a 2018, quando, de maneira geral, houve uma redução no montante de queimadas no Cerrado, verifica-se que as classes com quantidade acima de 861 focos de queimadas se restringem às porções norte (MATOPIBA) e noroeste do bioma (Arco do Desmatamento, na transição com a Amazônia). Ao passo que no restante do bioma as microrregiões demonstram predomínio de quantidades inferiores a 260 focos de queimadas.

Neste período, destaca-se o ano de 2012, no qual se percebe novo incremento no total de queimadas no Cerrado, correspondendo ao quarto ano com maior quantitativo (90.600 focos) da série temporal, com várias microrregiões na região do MATOPIBA registrando quantidades superiores a 3.201 focos de queimadas. Na maior parte dos anos deste período a microrregião do Jalapão - TO desponta com as maiores quantidades de focos, chegando a registrar 4.658, conforme verificado em 2012.

Uma análise comparativa dos mapas permite constatar, na porção setentrional do bioma (especificamente, ao norte do paralelo 15° S), o predomínio das classes com maiores quantidades de focos, representadas pelas tonalidades escuras e relacionadas aos valores superiores a 861 focos – que chegam a alcançar 7.909 focos, conforme verificado na microrregião de Alto Mearim e Grajaú - MA. Com algumas exceções, na porção meridional do bioma verifica-se o predomínio das classes com menores quantidades de queimadas, isto é, abaixo de 260 focos. Dessa forma, nota-se um evidente padrão espacial da ocorrência das queimadas no Cerrado, uma vez que as maiores quantidades de focos de queimadas correspondem à porção norte do bioma e a menor ocorrência de queimadas, ao sul do Cerrado.

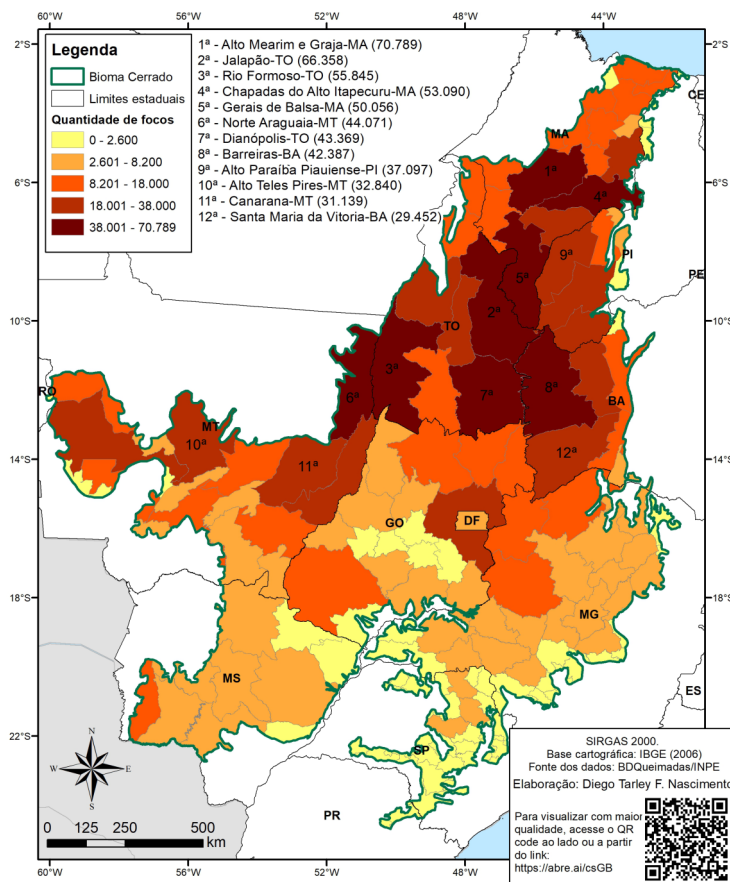
Considerando-se toda a série temporal de dados, verifica-se a ocorrência média de 415 focos de queimadas por microrregião no Cerrado. Todavia, a média da quantidade de queimadas entre as microrregiões variou ao longo dos anos, tendo ocorrido maior valor médio de 802 focos de queimadas calculada em 2007 e de apenas 208 focos para em 2000. Com relação ao valor máximo de queimadas registrado numa microrregião, a média calculada para o período de 1999 a 2018 foi de 4.074 focos, variando entre 7.909 (2007) e 2.036 (2009) focos de queimadas registrados em uma única microrregião.

No período de 1999 a 2018 (vinte anos) foram registrados 1.390.251 focos de queimadas no Cerrado, sendo 8.082 focos por microrregião. As microrregiões com maior ocorrência de queimadas foram: Alto Mearim e Grajaú - MA (70.789 focos), Jalapão - TO (66.358), Rio Formoso - TO (55.845), Chapadas do Alto Itapecuru - MA (53.090), Gerais de Balsa - MA (50.056), Norte Araguaia - MT (44.071), Dianópolis - TO (43.369), Barreiras - BA (42.387), Alto Parnaíba Piauiense - PI (37.097), Alto Teles Pires - MT (32.840), Canarana - MT (31.139) e Santa Maria da Vitória - BA (29.452) – como se pode visualizar na Figura 4.

Destas 12 microrregiões apenas três não se encontram no

MATOPIBA, o que demonstra que essa região foi a principal área de ocorrência de queimadas no Cerrado no período analisado. Todavia, estas três microrregiões se encontram justamente na região do Arco do Desmatamento, denotando também ser esta uma fronteira agrícola com ocorrência expressiva de queimadas.

Figura 4 – Total de focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões (1999 a 2018)



Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organizado pelos autores. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acesse o link: <https://abre.ai/csGB>

Também se pode observar, na Figura 4, que as microrregiões com menor ocorrência de queimadas em todo período de observação (< 2.600 focos) se concentram principalmente nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Entretanto, vale também destacar a classe de quantidade intermediária de focos de queimadas registrados entre 1999 e 2018 (entre 8.201 e 18.000), quantidade superior ao valor médio

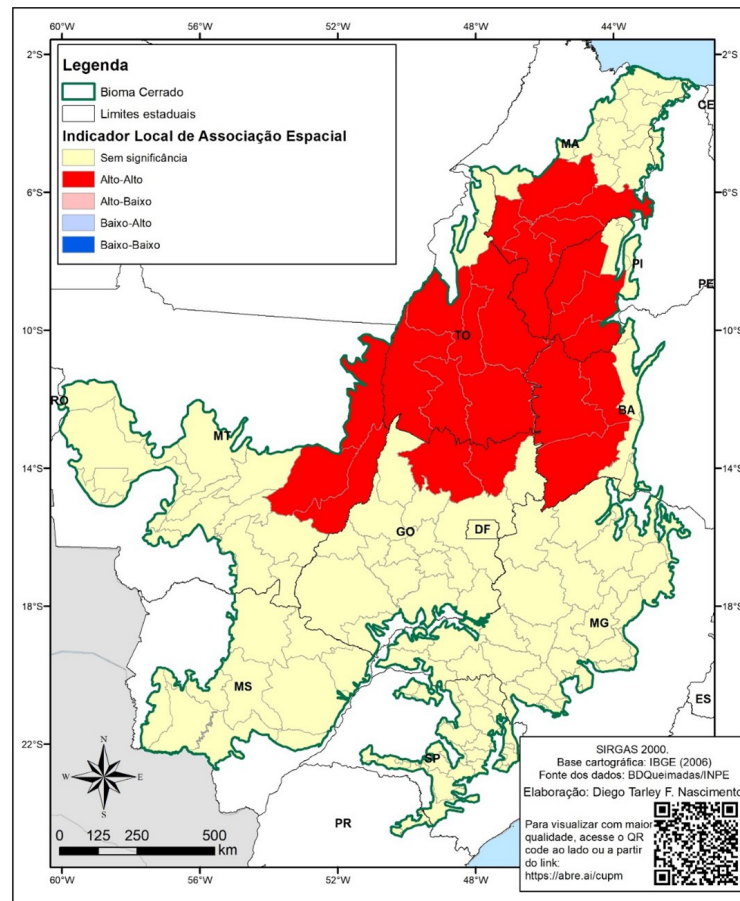
de queimadas por microrregiões, que se relaciona às microrregiões que se concentram nas regiões sudoeste e nordeste do estado de Goiás, à noroeste de Minas Gerais e na porção central do Mato Grosso – localidades onde a prática do agronegócio é bastante significativa.

Uma análise conjuntural demonstra que a ocorrência de focos de queimadas no Cerrado apresentou, no período compreendido entre 1999 e 2018, maior variação temporal do que espacial. Apesar da diminuição/incremento da quantidade de queimadas em determinados anos, algumas microrregiões permanecem concentrando as maiores ocorrências de focos de queimadas. O fato de apenas 40 microrregiões (das 170 existentes no Cerrado) registrarem 72,6% do total de queimadas no período observado corrobora para a afirmação de que há uma concentração da ocorrência de queimadas em determinadas localidades.

Essas microrregiões que concentram a ocorrência de queimadas no Cerrado se situam, sobretudo, nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí, Mato Grosso e Bahia, justamente nas regiões conhecidas como MATOPIBA e Arco do Desmatamento. Todavia, vale destacar a presença de microrregiões com elevada quantidade de focos de queimadas também nos estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, exemplificadas pelas microrregiões Entorno de Brasília (GO), Marília (SP), Porangatu (GO), Chapada dos Veadeiros (GO), Januária (MG) e Baixo Pantanal (MS).

A análise de autocorrelação local realizada a partir do Indicador Local de Associação Espacial (LISA) indica alta associação espacial dos focos de queimadas em microrregiões situadas junto aos estados da região do MATOPIBA, além do Mato Grosso (Arco de Desmatamento) e do norte de Goiás (FIGURA 5). Trata-se, portanto, de microrregiões com alta ocorrência de queimadas que são vizinhas de outras microrregiões também com alta incidência de queimadas, portanto, pertencentes à classificação alto-alto do indicador local de associação espacial.

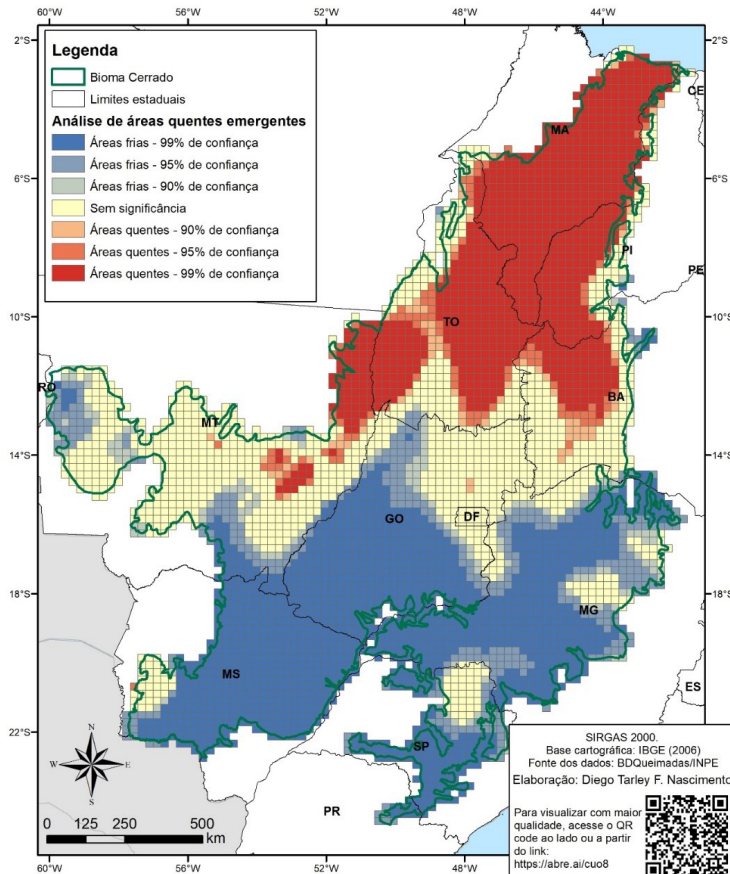
Figura 5 - Indicador Local de Associação Espacial (LISA) para os totais de focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões (1999 a 2018)



Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organizado pelos autores. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acesse o link: <https://abre.ai/cuo8>

Todavia, uma melhor análise do padrão espacial e temporal de ocorrência dos focos de queimadas no bioma Cerrado entre 1999 e 2018 pode ser expressa a partir da ferramenta *Emerging Hot Spot Analysis*, que emprega estatísticas e testes de tendência a fim de verificar a existência de uma tendência, estatisticamente significativa no decorrer da série temporal, que indique o aumento (áreas quentes) ou a diminuição (áreas frias) de determinado atributo ou fenômeno, que pode ser retratada na forma de ponto ou área. Dessa forma, a Figura 6 representa as áreas quentes relacionadas ao incremento de focos de queimadas ao longo da série temporal de observação com maior grau de significância estatística. Por outro lado, as áreas frias retratam as localidades em que houve diminuição da ocorrência de focos de queimadas ao longo do período de 1999 a 2018.

Figura 6 - Análise de Pontos Quentes Emergentes para os totais de focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões (1999 a 2018)



Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organizado pelos autores. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acesse o link: <https://abre.ai/cuo8>

Pelo que se observa pela Figura 6, as áreas quentes ocorrem, sobretudo, ao norte do paralelo de 13° S, ao longo de uma considerável área que se estende desde o estado do Tocantins, de forma contínua, para Bahia, Piauí e Maranhão – mais uma vez, demarcando a maior incidência de queimadas na região denominada como MATOPIBA, considerada como a nova fronteira de expansão agrícola do País. Há ainda uma mancha na divisa de Tocantins com o Mato Grosso classificada como área quente, que se estende, de maneira fragmentada, até o centro do Mato Grosso e que pode estar associada ao Arco do Desmatamento.

Em contraste às áreas de concentração espacial e tendência crescente de ocorrência de queimadas, o mapa da Figura 6 também indica as áreas com maior significância estatística para a diminuição de queimadas, retratadas como áreas frias,

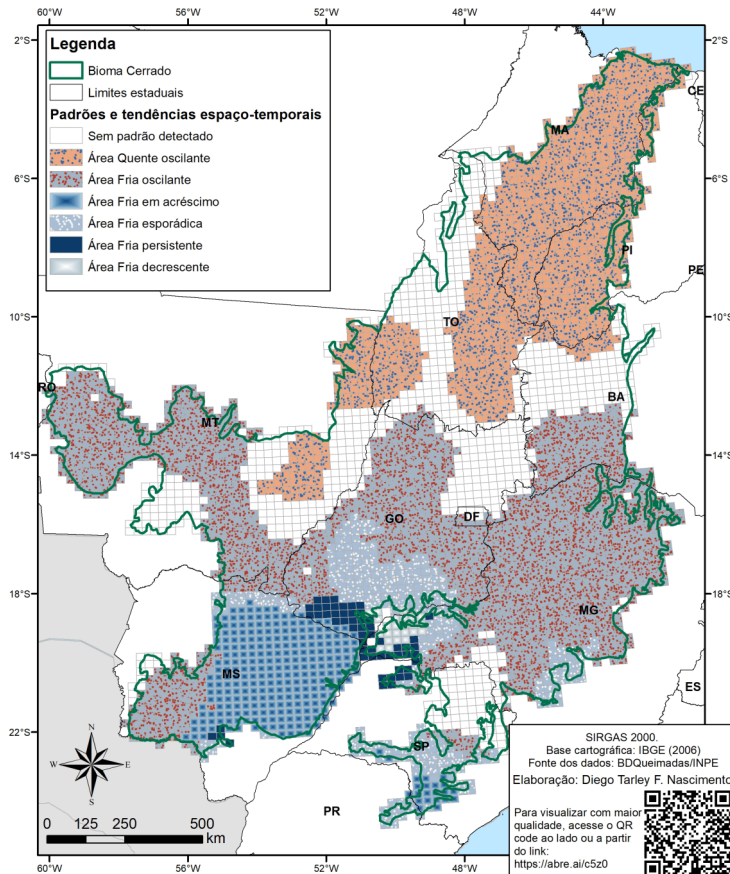
relacionadas às porções central, sul, oeste e sudoeste de Goiás e a grande parte dos estados do Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Essas áreas coincidem com as microrregiões que apresentaram menores quantitativos de queimadas ao longo dos sucessivos anos analisados e que, possivelmente, estão associadas a usos já consolidados da agropecuária.

Por fim, em algumas pequenas manchas nas porções sudoeste e sudeste do bioma, nas áreas marginais ao norte do bioma e, principalmente, ao longo de uma faixa latitudinal na porção central do bioma, existem as áreas em que não foi encontrada significância estatística de padrão ou de tendência com relação à ocorrência de queimada – o que retrata um dinamismo das queimadas entre os anos observados nestas localidades.

Ainda concernente à análise dos pontos quentes emergentes, na Figura 7 são indicadas, para além apenas da determinação e localização das áreas quentes e frias de ocorrência de queimadas, também o padrão e as tendências espaço-temporais da ocorrência dos focos queimadas no Cerrado ao longo da série temporal. Ressalta-se o predomínio duas classes: de área quente oscilante e de área fria também oscilante.

A primeira classe, de área quente oscilante, é percebida na região do MATOPIBA, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, mas também em duas manchas vinculadas ao Arco do Desmatamento – uma entre o Tocantins e o Mato Grosso e outra no Mato Grosso. O padrão indicado como área quente oscilante, retrata as localidades que apresentaram um aumento recente da quantidade de queimadas, no contexto de predomínio de incremento de queimadas na maior parte da série temporal, mas que teve o histórico de ter apresentado, por um curto período de tempo anterior, uma redução no quantitativo de focos (possivelmente associado ao período de 1999 a 2001). Esta região, classificada como área quente oscilante, está associada, sobretudo, aos locais em que há maior ocorrência de vegetação nativa, indicativo de uso do fogo para conversão da cobertura vegetal natural para usos e atividades agropecuárias.

Figura 7 – Padrões e tendências espaço-temporais dos focos de queimadas no Cerrado, por microrregiões (1999 a 2018)



Fonte: BDQueimadas/INPE, calculado em SIG e organizado pelos autores. Obs.: para visualizar com maior detalhe, acesse o link: <https://abre.ai/c5z0>

Em oposição, a segunda classe que predomina, de área fria oscilante, ocorre ao sul do paralelo de 13° S, no Mato Grosso, a oeste do Mato Grosso do Sul, a sudoeste da Bahia, de Goiás, Minas Gerais e São Paulo – onde a atividade agropecuária já está consolidada. A região definida como área fria oscilante diz respeito a um padrão de decréscimo de queimadas nos últimos anos da série temporal, em localidades em que predomina a redução das queimadas, mas que anteriormente houve também um incremento das queimadas.

O predomínio de áreas quentes e frias associadas ao padrão de “oscilante” demarca muito bem o dinamismo da ocorrência das queimadas no Cerrado, sobretudo na questão da variação da quantidade de focos entre 1999 e 2018, como reflexo do avanço das fronteiras agrícolas – no caso das áreas quentes nas regiões do

MATOPIBA e do Arco do Desmatamento, e da consolidação de áreas agropastoris – no caso das áreas frias na porção sul do bioma.

Em uma considerável extensão da porção setentrional e, principalmente, central do Cerrado não foi detectado um padrão de tendência de incremento ou redução das queimadas, conforme visto no nordeste de Goiás, no Mato Grosso, no oeste da Bahia, no Tocantins e na divisa de Minas Gerais com São Paulo.

Todavia, há ainda outros padrões de áreas frias (redução) na porção meridional do bioma. Neste contexto, a maior ocorrência é de área fria em acréscimo, vista em grande parte do Mato Grosso do Sul, mas também em uma pequena porção de São Paulo, onde observa-se o predomínio de pastagens e agricultura, na qual há uma recorrente e intensificada redução da ocorrência de queimadas no período analisado. Percebe-se a ocorrência de áreas frias, classificadas como esporádica, vistas na porção sul e sudoeste de Goiás, e também em reduzidas localidades no Mato Grosso do Sul, em Minas Gerais e São Paulo, que retratam uma tendência de redução de queimadas que não ocorre mais de maneira consecutiva na série temporal.

Por fim, há pequenas áreas, entre a divisa dos estados de Goiás e Minas Gerais e deste último com relação à São Paulo, classificadas como ponto frio persistente e decrescente, a primeira relacionada à tendência de redução contínua do quantitativo de queimadas e a segunda associada à redução da ocorrência de queimadas em tendência decrescente.

Considerações Finais

Diante da complexidade que está presente na interação entre o Cerrado e o fogo e a recente compreensão de que se trata de uma relação simbiótica e, portanto, inevitável, estudos que se dediquem à temática, independentemente da perspectiva de análise e escala, são oportunos e necessários. No intuito de contribuir com esta perspectiva, com o presente trabalho visou-se mapear e analisar os padrões espaciais e as tendências temporais da ocorrência de queimadas no Cerrado durante o período de 1999 a 2018.

Os resultados demonstram concentração e alta associação espacial dos focos de queimadas em microrregiões situadas junto

aos estados da região do MATOPIBA, além do Mato Grosso (Arco de Desmatamento) e do norte de Goiás, regiões notadamente reconhecidas como fronteiras de expansão das atividades agrícolas no bioma.

De mesma forma, a análise conjuntural de toda série temporal, sobretudo auxiliada pela técnica de análise de pontos quentes emergentes, retrata maior concentração e tendência de incremento de queimadas na porção setentrional do Cerrado. Ao passo que na porção meridional do bioma se evidencia maior quantitativo e também tendência de redução da incidência de queimadas.

Dessa forma, a metodologia empregada se mostrou apropriada, uma vez que a aplicação das técnicas estatísticas de autocorrelação espacial (global e local) e o emprego da ferramenta de análise de pontos quentes emergentes – ambos casos implementados sob o aporte de sistemas de informação geográfica (SIG), em muito contribuíram com a análise da ocorrência espacial das queimadas no Cerrado ao fornecerem indicativos da associação espacial e dos padrões e tendências espaço-temporais dos focos de queimadas no referido bioma.

Por fim, vale frisar que a adoção de medidas sustentáveis de exploração e de estratégias de conservação do Cerrado não são apenas necessárias, mas sobretudo urgentes. É preciso reconhecer e valorizar o Cerrado a partir de sua rica biodiversidade e de sua cultura milenar, materializadas nos saberes e ritos dos povos tradicionais.

No contexto das queimadas, salienta-se que, para o manejo racional do fogo, deve-se levar em consideração tanto o comportamento do fenômeno (fogo) quanto as características de resiliência e fragilidade dos distintos elementos e componentes do ambiente. Assim, medidas preventivas exigem mais do que a simples exclusão desse agente ecológico tão essencial para o Cerrado.

Por se tratar de um ambiente pirofítico, isto é, dependente do fogo, é necessário compreender as reais necessidades e as melhores práticas de uso e manejo do fogo no Cerrado, não apenas propor bani-lo. Assim, sugere-se o resgate e a valorização do conhecimento de povos que coexistem de maneira harmônica com esse bioma, como é o caso dos povos tradicionais.

Referências

AMARAL, E. F. de L.; AMARAL, C. V. de L. Estruturas invisíveis de segregação na Região Metropolitana de Goiânia. **R. bras. Est. Pop.**, v.36, p. 1-31, 2019.

ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographic Analysis**, v. 27, p. 91- 114, 1995.

ANSELIN, L. Interactive techniques and Exploratory Spatial Data Analysis. In: P. LONGLEY, P.; GOODCHILD. M.; MAGUIRE D.; RHIND D. (eds.). **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**. Cambridge: Geoinformation International, 1999.

ARAÚJO, F. M. **As áreas queimadas do bioma Cerrado: Proposições para o monitoramento e conservação**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ARAÚJO, F. M. **Mapeamento de áreas queimadas no bioma cerrado a partir de dados MODIS MCD45A1**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

ARAÚJO, F. M.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. A. Distribution patterns of burned areas in the brazilian biomes: an analysis based on satellite data for the 2002-2010 period. **Remote Sensing**, Basel, v. 4, p. 1929-1946, 2012.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Bot. Bras.**, São Paulo, v. 20, n.1, 2006.

HARRIS, N. L.; GOLDMAN, E.; GABRIS, C.; NORDLING, J.; MINNEMEYER, S.; ANSARI, S. LIPPMANN, M.; BENNET, L.; RAAD, M.; HANSEN, M.; POTAPOV, P. Using spatial statistics to identify emerging hot spot of forest loss. **Environmental Research Letters**, v. 12, 2017.

JESUS, J. B.; ROSA, C. N.; BARRETO, I. D. C; FERNANDES, M. M. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. **Ciênc. Florest.** [online], vol.30, n.1, pp.176-191, 2020. ISSN 1980-5098. 2020.

NASCIMENTO, D. T. F.; ARAÚJO, F. M.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Análise dos padrões de distribuição espacial e temporal dos focos de calor no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 63, n. 4, p. 461-475, 2010.

NUNES, F. G. Análise exploratória espacial de indicadores de desenvolvimento socioambiental das regiões de planejamento do Norte e Nordeste Goiano. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 7, n.1, p. 237-259, 2013.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F (Org.). **Cerrado: ecologia e flora**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008. Cap. 6, p.151-212.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2020, acessado em 27/11/2020 através do link: [<https://mapbiomas.org/>].

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 2019, acessado em 02/08/2019 através do link: [<https://mapbiomas.org/>].

RIBEIRO, R. F. **Florestas anãs do sertão** – O cerrado na história de Minas Gerais. Belo Horizonte. Autêntica, 2005.

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**, v. 14, n. 3, p. 1220-1235, 2021.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C. Análise da distribuição espacial dos focos de queimadas para o bioma Cerrado (2002-2012). **Caderno de Geografia**, Uberlândia, v. 24, número especial, p. 133-142, 2014.

SANTOS, P. R.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. S.; RAMOS, R. C.; FERREIRA, A. B. R.; RESENDE, F. C. Análise das queimadas no Cerrado e sua relação com o NDVI para os anos de 2000 e 2014. **Revista de Geografia**, v. 35, n.2. 2018.


SOUZA, J. C.; MARTINS, P. T. de A.; DRUCIANKI, V. P. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée**

- Revista De Geografia Da UEG, v. 9, n. 2, 2020.


Contribuições dos autores

Todos os autores ofereceram substanciais contribuições científicas e intelectuais ao estudo. As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como, revisão crítica foram desenvolvidas em grupo. A primeira autora, Maíra Iaê Savioli Rocha, ficou especialmente responsável pela aquisição de dados, processamento, representação e suas interpretações e análise. O segundo autor, Diego Tarley Ferreira Nascimento, foi responsável pelo desenvolvimento teórico-conceitual e pela definição e implementação dos procedimentos técnicos.

Maíra Iaê Savioli Rocha - Graduada em Geografia pela Universidade Federal de Goiás - UFG (2016) e Mestra em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás - UEG (2021), na área de Análise Ambiental do Cerrado.

 <https://orcid.org/0000-0002-9271-4021>

Diego Tarley Ferreira Nascimento - Graduado (2009), Mestre (2011) e Doutor (2016) em Geografia pela UFG. Atualmente é Professor Adjunto no Instituto de Estudos Socioambientais da UFG, atuando na área de Geografia Física e Geomática, com ênfase em Cartografia, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Climatologia. Também é professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UEG - Câmpus Cora Coralina, atuando no Mestrado.

 <https://orcid.org/0000-0002-9271-4021>

Recebido para publicação em 11 de dezembro de 2021

Aceito para publicação em 8 de janeiro de 2022

Publicado em 10 de fevereiro de 2022