










## Geociências

# Identificação espaço-temporal dos padrões de focos de calor no estado do Maranhão

Spatio-temporal identification of hot spots patterns in Maranhão state

**Ernandes Macedo da Cunha Neto<sup>I</sup> , Jade Cristynne Franco Bezerra<sup>II</sup> ,**  
**Marks Melo Moura<sup>I</sup> , Emmanoella Costa Guaraná Araujo<sup>I</sup> ,**  
**Marcio Roberto da Silva Melo<sup>III</sup> , Núbia de Fátima Alves dos Santos<sup>III</sup> ,**  
**Luciana da Silva Borges<sup>III</sup> **

<sup>I</sup> Universidade Federal do Paraná (UFPR), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade Federal do Paraná (UFPR), Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal/Agronomia, Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>III</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Paragominas, Pará, Brasil.

## RESUMO

O fogo no Brasil é associado a diversas etapas do setor agropecuário, sendo frequente o registro de incêndios e queimadas no país. Assim, o Maranhão, é um dos estados com maior ocorrência de focos de queimadas. O objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica espacial e temporal dos focos de calor no Maranhão. Os dados de focos de calor foram adquiridos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, enquanto os de pluviosidade com o sensor TRMM. Analisou-se os focos de calor anualmente, entre 2007 a 2019. Estes foram submetidos ao estimador de densidade Kernel no QGIS 2.18. Houve 325.940 focos no Maranhão entre 2007 a 2019, com maior incidência em 2007. A maior precipitação ocorreu entre janeiro e maio, o que coincide com a menor incidência dos focos de calor. Estes estão concentrados no centro maranhense, onde há menor precipitação. Os focos estavam entre 0-149 km de áreas de desmatamento, assentamentos, rodovias e aldeias indígenas. As áreas com maior concentração dos focos de queimadas estão localizadas no bioma cerrado, sendo a maior incidência no segundo semestre, o qual tem menor pluviosidade. Portanto, a incidência dos focos de calor é intrínseca à sazonalidade da precipitação e intensificada pela ação antrópica.

**Palavras-chave:** Desmatamento; Fogo; Kernel; Precipitação



## ABSTRACT

The fire use in Brazil is associated with several agricultural sector stages, such that it is frequent the fires and uncontrolled burning registration throughout the national territory. In this way, Maranhão is one of the states with the largest record of hot spots. Thus, this study analyzing the spatial and temporal dynamics of hot spots in the Maranhão state. The hot spot data were acquired from the National Institute of Space Research, while the rainfall data were obtained with the TRMM sensor. Hot spot data were analyzed yearly, between the years 2007 to 2019. In this period, 325.940 hot spots were registered in Maranhão, with higher incidence in 2007. The highest rainfall occurred between January and May, which coincides with the lower incidence of hot spots. These was concentrated in the state center, where there is a low precipitation. The hot spots were between 0-149 km of deforestation areas, settlements, highways, and indigenous villages. The cerrado biome has the highest concentration of hot spots, with the highest incidence in the second semester, which has low rainfall. The incidence of hot spots is intrinsic to the seasonality of precipitation and was intensified by anthropic action.

**Keywords:** Deforestation; Fire; Kernel; Precipitation

## 1 INTRODUÇÃO

O uso do fogo, mesmo nos dias atuais, ainda assume importante papel sobre a dinâmica da paisagem (MORITZ *et al.*, 2014; SALES *et al.*, 2019). Embora existam técnicas consolidadas para sua utilização, é frequente o registro de incêndios e queimadas descontroladas em todo o território nacional. Vale ressaltar, que as queimadas se caracterizam pelo uso do fogo de maneira controlada, enquanto o incêndio é uma queimada descontrolada que pode ocorrer em florestas ou áreas agrícolas (CARDOZO *et al.*, 2014; TOMZHINSKI; COURA; FERNANDES, 2011). Tal fato reforça a preocupação com o tema, por acarretar danos, muitas vezes irreversíveis, ao meio ambiente, como aumento da mortalidade de espécies florestais, perda da biodiversidade, redução da ciclagem da água e nutrientes, além da redução da qualidade de vida (PHILLIPS *et al.*, 2009; BRIENEN *et al.*, 2015; ROWLAND *et al.*, 2015).

Os registros de queimadas no Brasil são comumente associados a realização de etapas do processo produtivo do setor agropecuário, como a limpeza de área para cultivo agrícola, queima da palhada para a colheita da cana-de-açúcar, manejo da pastagem e eliminação de resíduos vegetais provenientes de cultivos com incidência de praga (ABREU; SOUZA, 2016; PEREIRA; SILVA, 2016; TORRES *et al.*, 2017; SALES *et al.*, 2019). Todavia, há registros de incêndios

causados por fenômenos naturais, com frequência relativamente baixa, mas que pontuam para o aumento da estatística desses eventos. Fenômenos naturais como o *El Niño*, que influenciam diretamente no regime pluviométrico e na umidade relativa do ar, podem contribuir para o aumento da ocorrência de queimadas (ARAGÃO *et al.*, 2018; MEDEIROS; FIEDLER, 2003; SILVA JUNIOR *et al.*, 2019).

Neste sentido, o estado do Maranhão foi responsável por 10% dos focos de queimadas do Brasil no ano de 2019 (INPE, 2020a). Pertencente a região nordeste, o estado apresenta seu desenvolvimento apoiado em atividades agropecuárias como a pesca, agricultura (grãos, principalmente) e pecuária bovina, dispendo ainda assentamentos rurais e terras indígenas que, no geral, praticam agricultura de subsistência e tem no sistema de corte e queima o principal mecanismo para o preparo de área (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

No Brasil, o monitoramento operacional de focos de calor e de incêndios florestais é desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, por meio técnicas de sensoriamento remoto. De acordo com dados do órgão, pelo Programa Queimadas para o ano de 2019, o país registrou mais de 197.000 focos, com destaque para a região amazônica, a qual contemplou os três estados com maior número de registros: Mato Grosso (31.176 focos), Pará (30.165) e Maranhão (18.523 focos), o que representou uma área queimada de 72.501 km<sup>2</sup>, 68% a mais em comparação ao ano de 2018 (INPE, 2020a).

Embora seja indiscutível os danos oriundos das queimas, pesquisas sobre os efeitos da utilização do fogo se configuram como um tema atual, em virtude da crescente demanda por informações quanto sua origem, distribuição espacial e possíveis prejuízos ao ambiente e a saúde humana, tanto de órgãos ambientais reguladores, como pela sociedade civil e comunidade científica (KOUTSIAS *et al.*, 2013; ROBINNE *et al.*, 2018; LINDBERG; PUNTTILA; VANHA-MAJAMAA, 2020).

Nessa perspectiva, o uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tem sido amplamente utilizadas no fornecimento de

informações relevantes ao uso e cobertura da terra, na identificação das ocorrências de incêndios, permitindo o monitoramento de grandes áreas. Assim, com informações georreferenciadas, é possível verificar onde há concentração de focos, sua correlação com variáveis climáticas e o uso do solo, bem como avaliar o padrão espacial de ocorrência (TSIOURLIS; ANDREADAKIS; KONSTANTINIDIS, 2009; SYPHARD; KEELEY; BRENNAN, 2011; THOMPSON *et al.*, 2011; PALAIOLOGOU; KALABOKIDIS; KYRIAKIDIS, 2013). Além dos fenômenos climáticos (precipitação, ENOS, entre outros), a ação antrópica (desmatamento, avanço da agropecuária, uso do fogo) também contribui com a incidência dos focos de calor (ARAÚJO *et al.*, 2020; CUNHA NETO *et al.*, 2021). Assim, há a hipótese que a dinâmica dos focos de calor é modulada por tais eventos antrópicos e climáticos. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho analisar a dinâmica espacial e temporal dos focos de calor no estado do Maranhão, bem como qualificá-los e quantificá-los para a compreensão dos fatores que os causam.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

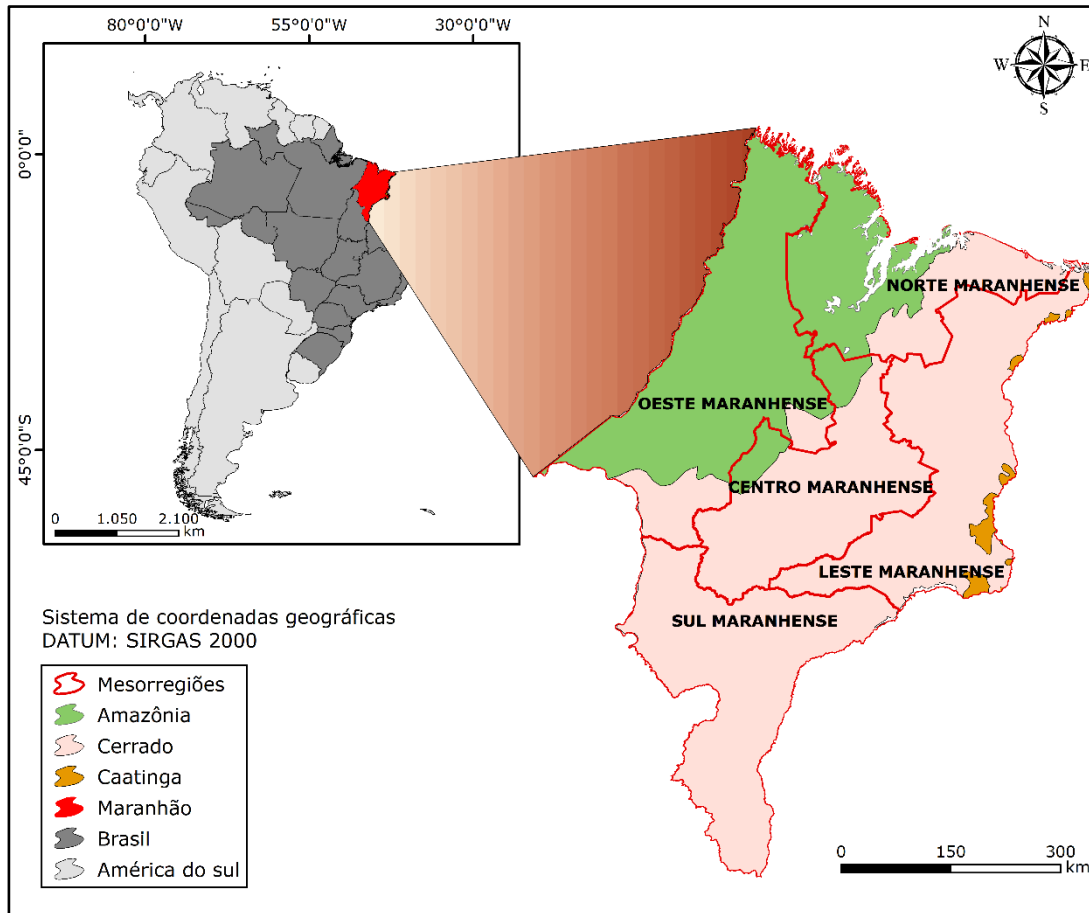
### 2.1 Descrição da área de estudo

O foco do estudo foi o estado do Maranhão, o qual possui área total aproximada de 331.937 km<sup>2</sup>, encontra-se em uma zona de transição do clima semiárido, para o úmido equatorial, situado em área de transição entre Cerrado, Amazônia e Caatinga (ARAGÃO; CONCEIÇÃO, 2008). Possui maior extensão territorial no sentido norte-sul, portanto, apresenta distinções climáticas e de regimes pluviométricos em seu território.

Na região oeste, predomina o clima tropical quente e úmido (Am), onde ocorrem precipitações pluviométricas em níveis elevados durante praticamente todo o ano, superando os 2.000 mm. As outras regiões há um predomínio do clima tropical quente e semiúmido (Aw), cujas precipitações alcançam 1.250 mm. As temperaturas em todo o Maranhão são elevadas, com médias anuais

superiores a 24°C, sendo que ao norte a temperatura chega a atingir 28°C (SEMA, 2002; ALVARES *et al.*, 2013) (Figura 1).

Figura 1 - Estado do Maranhão



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## 2.2 Aquisição dos dados

Os dados de focos de calor foram adquiridos gratuitamente no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir do programa Queimadas (INPE, 2020b), com base no satélite referência AQUA, o qual possui resolução espacial de 500m. Foram analisados os focos de calor num período de 12 anos, englobando os anos de 2007 a 2019. A fim de explicar a dinâmica dos focos de calor foram obtidos dados de desmatamento do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), bem como o PRODES Cerrado (INPE, 2019). Contudo, neste projeto não existe

quantificação da área desmatada para o Cerrado nos anos de 2007, 2009 e 2011, logo, os dados quantitativos do desmatamento do estado do Maranhão para estes anos foi obtido no projeto MAPBIOMAS (MAPBIOMAS DEVELOPMENT TEAM, 2019). Porém, não foi possível a visualização dessas áreas em mapas, devido à inexistência de vetores de desmatamento neste projeto, bem como a ausência de dados de desmatamento para o cerrado nestes anos.

Além de informações quantitativas, foram utilizadas informações espaciais, vetores em formato *shapefile*, com as coordenadas de localização geográfica dos focos registrados, data de ocorrência, hora, e dados pluviométricos, todos tabulados e contidos em suas respectivas tabelas de atributos. Também foram utilizados os *shapefiles* referentes a Unidades de conservação, Território indígena, Programas de Assentamento (PA), rodovias e sedes municipais, adquiridos gratuitamente nos sites do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e Ministério do Meio Ambiente – MMA (IBGE, 2019; MMA, 2020).

Devido a quantidade de dados faltantes nas estações pluviométricas em território brasileiro, foi necessário obter dados de pluviosidade através do sensor TRMM disponibilizadas gratuitamente no sitio <https://disc.gsfc.nasa.gov/TRMM> (GESDISC, 2020). Os dados do TRMM, produto 3B43, são disponibilizados em escala global, com resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 27,83 km).

## 2.3 Processamento e análise dos dados

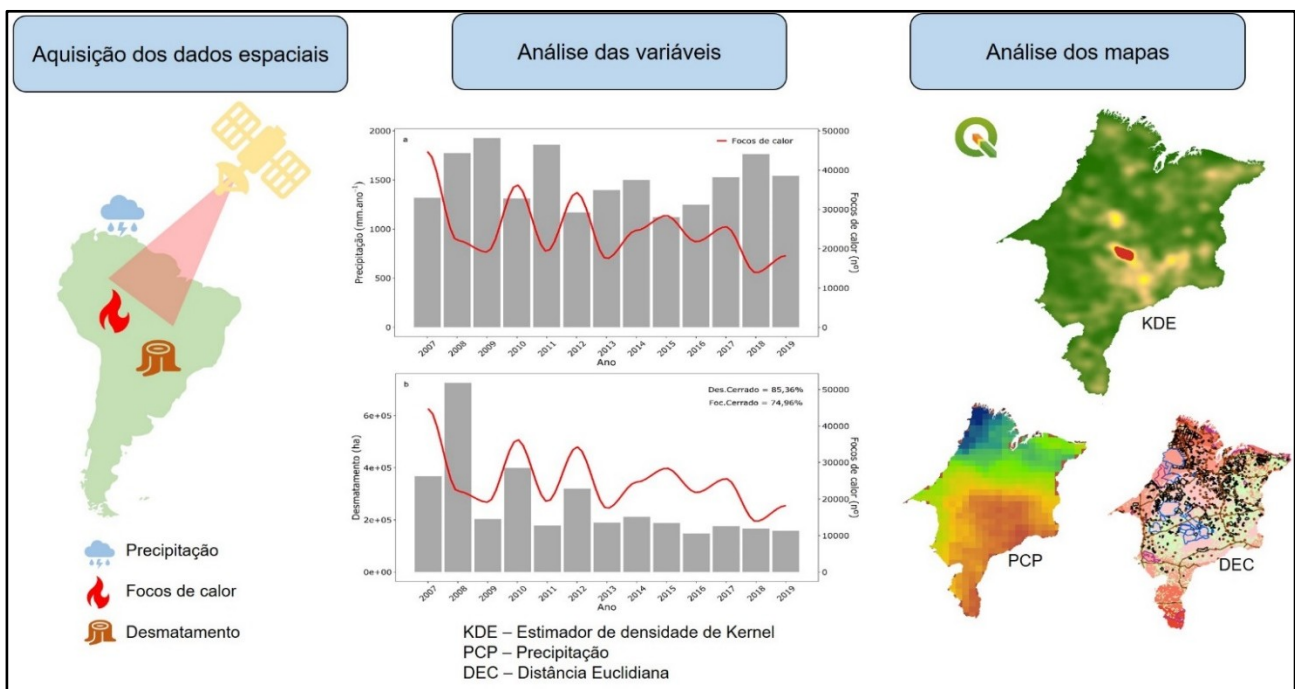
Os dados dos focos de calor foram submetidos ao estimador de densidade Kernel, com auxílio do software QGIS versão 2.18 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2016), com vistas na observação do comportamento dos focos de calor na microrregião. O estimador de densidade Kernel é uma técnica que estima a intensidade padrão espacial de pontos na superfície estudada, de modo que essa ferramenta desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência. Utilizou-se este estimador devido sua ampla utilização em pesquisas voltadas à análise geoespacial com dados pontuais,

além da facilidade de utilização e interpretação de seus resultados (CABRAL; SOUZA, 2008; TONINI *et al.*, 2016; OLIVEIRA; DE OLIVEIRA, 2017).

A partir das imagens do TRMM para o período definido neste estudo (2007-2019), foi realizada uma análise zonal, restringindo os dados para o estado do Maranhão, realizando uma média anual, assim como a uma média mensal do período. Foi recortado o produto 3B43 para a área de interesse, seguida da conversão das unidades milímetros por hora ( $\text{mm hr}^{-1}$ ) para milímetros (mm), com auxílio da função de álgebra de mapas, a partir do produto entre total de horas do mês pelo valor do pixel, considerando os anos bissextos. Neste processo, foram utilizadas 240 imagens mensais de precipitação.

A fim de avaliar a relação entre os focos de calor e desmatamento, unidades de conservação, terras indígenas, sedes municipais e estradas, realizou-se o cálculo da distância euclidiana entre as maiores concentrações de focos de calor e os vetores de cada uma destas categorias. Para tanto, converteu-se a imagem de focos de calor para vetor e extraiu-se o centroide das áreas com alta concentração. Assim, confrontou-se o mapa de distância euclidiana com os vetores de desmatamento, unidades de conservação, terras indígenas, sedes municipais e estradas com base na análise visual, a fim de verificar a relação destes parâmetros com os focos de calor. A figura 2 demonstra as etapas necessárias para elaboração deste trabalho.

Figura 2 – Fluxograma das etapas necessárias para este trabalho



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

### 3 RESULTADOS

Entre os anos de 2007 e 2019, foram detectados 325.940 focos de calor no estado do maranhão, sendo o ano de 2007 o que apresentou o maior número de focos, com 44.765 ocorrências (Tabela 1). Os maiores índices de precipitação foram registrados no ano de 2009, enquanto o ano com maior taxa de desmatamento foi 2008. Existe uma oscilação dos focos de calor entre os anos, de tal maneira que o maior incremento foi entre 2009 e 2010 (89%), enquanto a maior redução (50,6%) foi entre 2007 e 2008 (Tabela 1).



Tabela 1 - Focos de calor registrados no estado do Maranhão

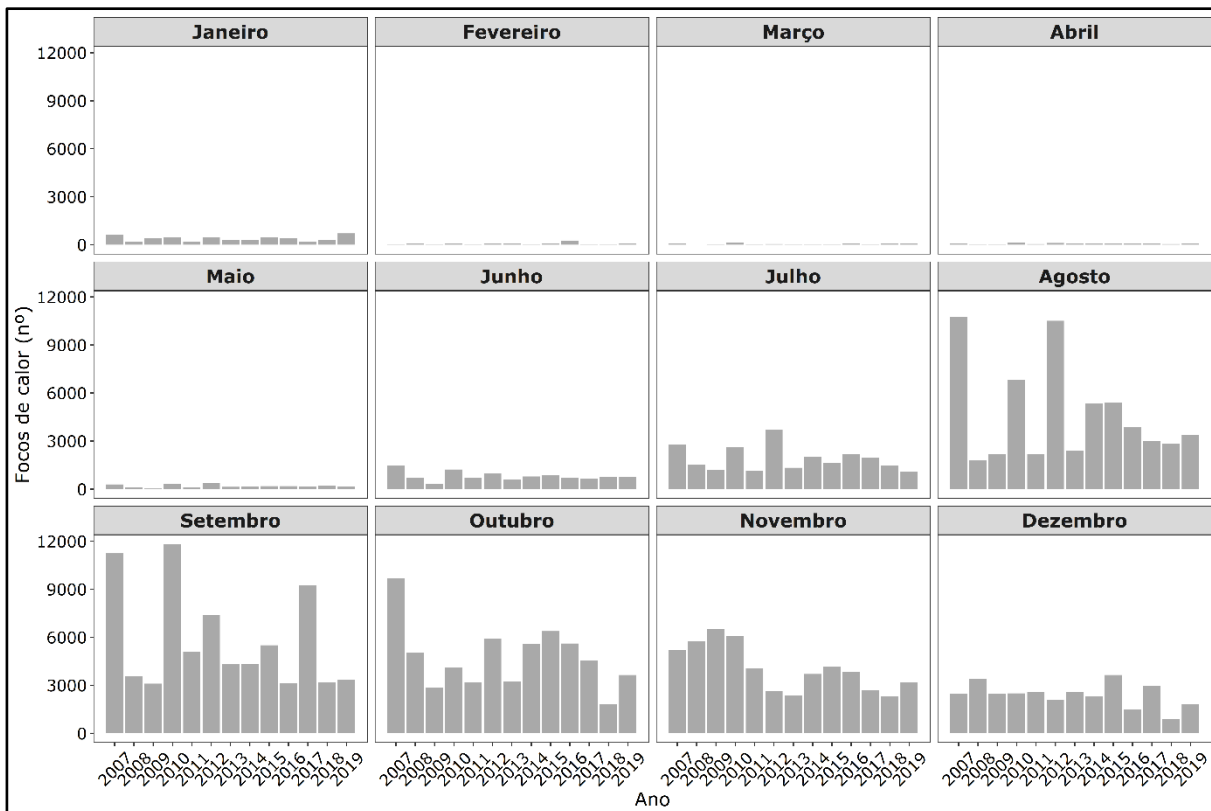
Quantitativo				Crescimento			
Ano	Focos	Precipitação média anual (mm.ano <sup>-1</sup> )	Área desmatada (ha)	Intervalo	Focos de calor (%)	Precipitação (%)	Área desmatada (%)
2007	44765	1317,48	367751,36	2007-2008	-50,59	34,68	97,15
2008	22119	1774,33	725024,92	2008-2009	-13,50	8,50	-71,96
2009	19132	1925,19	203310,06	2009-2010	89,62	-31,95	96,49
2010	36278	1310,09	399483,96	2010-2011	-46,76	41,88	-55,22
2011	19315	1858,76	178899,63	2011-2012	77,57	-36,99	79,05
2012	34297	1171,13	320318,25	2012-2013	-49,11	19,25	-41,03
2013	17454	1396,55	188900,93	2013-2014	41,34	7,31	12,34
2014	24669	1498,67	212207,20	2014-2015	15,27	-25,31	-11,65
2015	28435	1119,36	187481,28	2015-2016	-23,37	11,62	-21,23
2016	21790	1249,46	147679,40	2016-2017	17,37	22,45	18,85
2017	25576	1530,00	175519,72	2017-2018	-45,70	15,25	-5,17
2018	13889	1763,28	166446,18	2018-2019	31,19	-12,52	-4,94
2019	18221	1542,50	158218,22	2007-2019	-59,30	17,08	-56,98

Fonte: (IBGE, 2019; INPE, 2019, 2020b; GESDISC, 2020; MAPBIOMAS DEVELOPMENT TEAM, 2019; MMA, 2020).

No período de análise, houve redução de 59,30% na incidência dos focos de calor, enquanto a precipitação aumentou em 17,08% e o desmatamento reduziu em 56,98% (Tabela 1). É válido salientar que os anos de 2007, 2008, 2011, 2017 e 2018 sofreram influência do fenômeno climático *La niña* de intensidade moderada, enquanto 2009, 2015, 2016 e 2019 foram influenciados pelo *El niño*, dos quais, apenas 2015 e 2016 foi de intensidade forte, já 2009 e 2011 foram moderados.

Ao analisar a ocorrência de focos de calor ao longo dos meses, em cada ano de estudo, foi possível constatar um padrão destes eventos, no qual a maior incidência dos focos de calor esteve concentrada no segundo semestre, com os primeiros registros contabilizados entre os meses de junho e julho, e atingindo o ápice entre meses de agosto e setembro (Figura 3).

Figura 3 - Comportamento dos focos de calor no estado do Maranhão entre 2007 e 2019



Fonte: Própria do autor (2020).

Essa distribuição dos focos ao longo dos meses está diretamente ligada ao regime de precipitação pluviométrica da região. Embora o estado do Maranhão apresente duas classes climáticas de koppen, de maneira geral, esse caracteriza-se por apresentar regime pluviométrico bem definido, com duas estações distintas, período chuvoso e seco. Deste modo, a região apresenta maiores registro de precipitação pluviométrica entre meses de janeiro a maio, o que certamente contribui para a redução da incidência de focos de calor neste período. Em contrapartida, entre os meses de junho a outubro há uma redução significativa dos índices pluviométricos, com alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar, o que favorece ocorrência de queimadas no período. A tabela 2 ilustra a média normal climatológica da precipitação para cada mês no estado do Maranhão, bem como a média de incidência de focos de calor para cada mês do período de análise (Tabela 2).

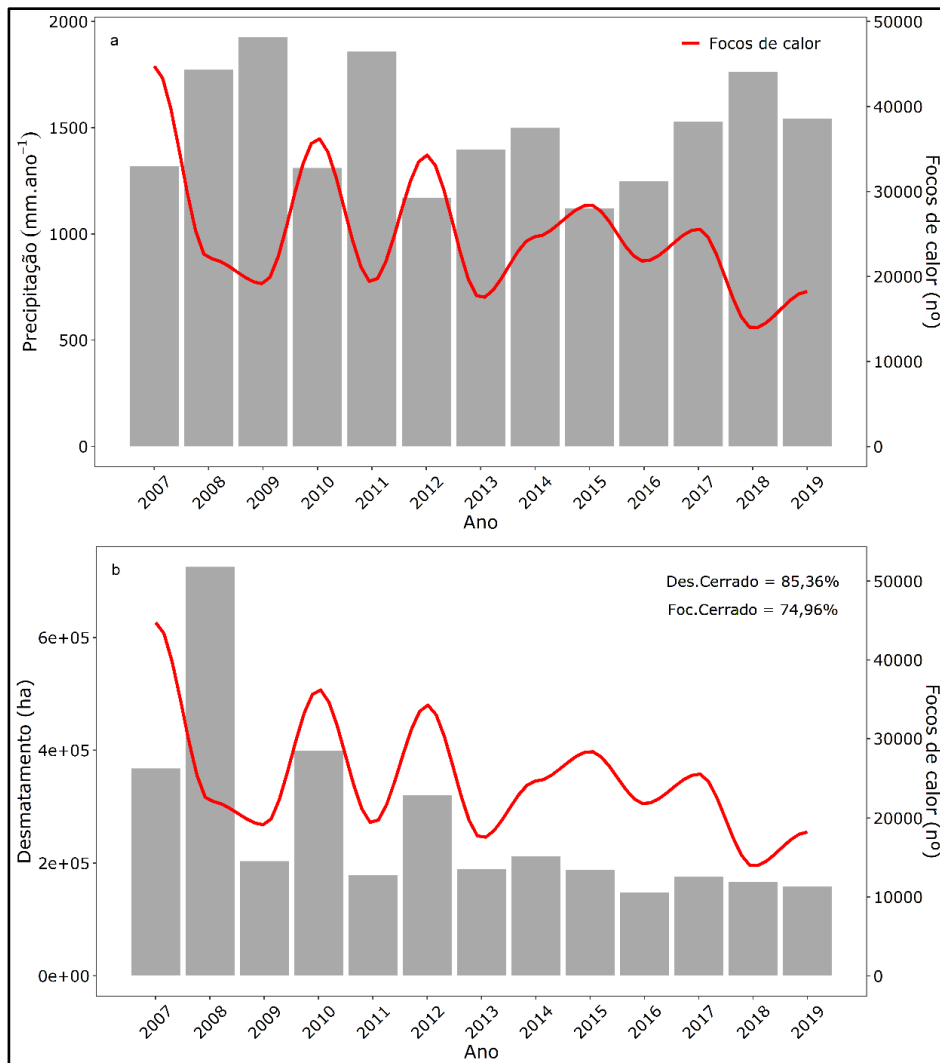
Tabela 2 - Média mensal dos focos de calor e normal climatológica da precipitação para cada mês do ano, no período de 1990-2019 no estado do Maranhão

Mês	Média de focos	Normal climatológica de precipitação (mm.mês <sup>-1</sup> )
Janeiro	382,92	2551,14
Fevereiro	67,77	3223,64
Março	56,77	3403,44
Abril	77,31	3026,77
Mai	179,15	1702,31
Junho	803,23	657,44
Julho	1894,23	387,74
Agosto	4649,31	167,07
Setembro	5788,92	225,83
Outubro	4734,08	531,68
Novembro	4032,85	1014,84
Dezembro	2405,77	1472,80

Fonte: (INPE, 2019, 2020b; GESDISC, 2020).

O movimento oscilatório dos focos de calor ao longo dos anos é evidente, de tal maneira que os anos de maior precipitação possuem menor incidência dos focos de incêndio (Figura 4a), enquanto nos anos que houve crescimento da área desflorestada (2010 e 2012) há incremento da ocorrência dos focos de calor (figura 4b). Além disso, 85,36 % da área desmatada e 74,96% dos focos de calor entre 2007 e 2019 foram registrados no bioma Cerrado presente no estado do Maranhão.

Figura 4 – Relação entre focos de calor com a precipitação (a) e desmatamento (b) no Maranhão entre 2007 e 2019

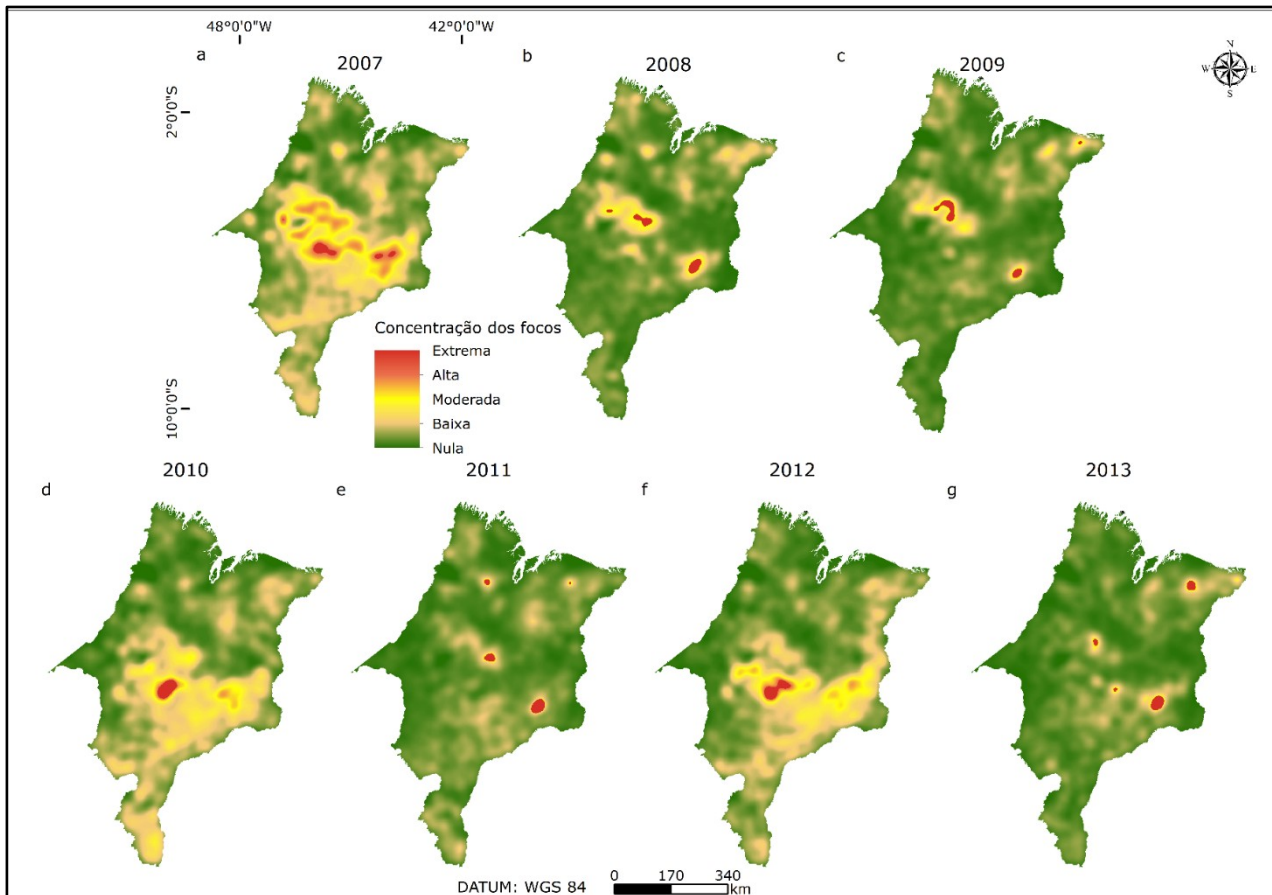


Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Nas figuras 5 e 6 são apresentados os mapas de kernel, gerados a partir da interpolação dos focos de calor, em cada ano, analisado com o propósito de se estimar a densidade destes eventos na área de estudo, escalonada em cinco classes: nula, baixa, moderada, alta e extrema, onde manchas em tons mais avermelhados expressam maior densidade, enquanto manchas em tons mais verdes denotam densidade mais baixa. Ao analisar os mapas, percebe-se que as áreas de maior densidade de focos marcam a região central do estado, especialmente em 2007, no qual a densidade considerada como extrema pontuou nas mesorregiões centro, leste e oeste maranhense. Entretanto, mesmo

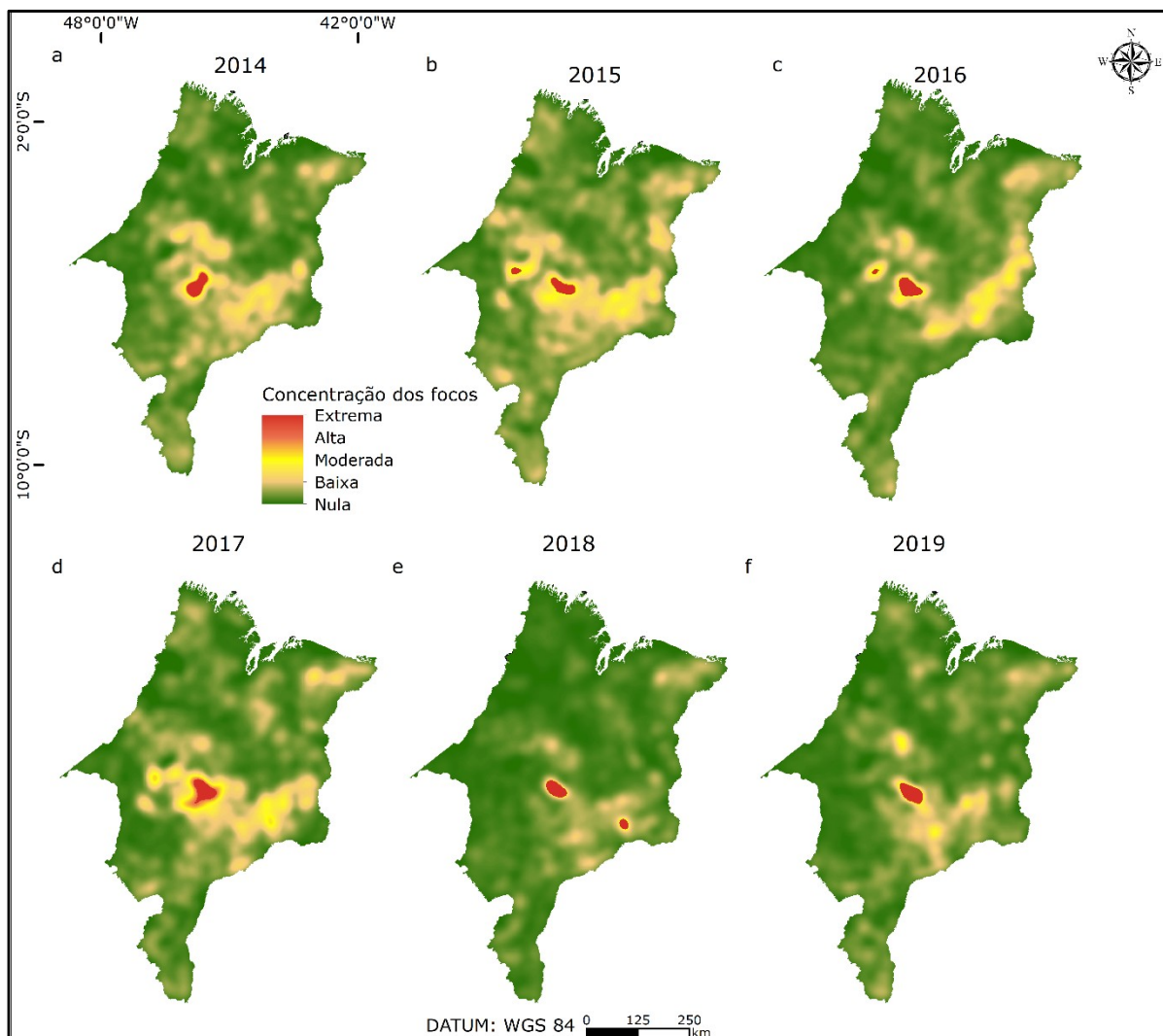
com destaque para a região central do estado, verifica-se que houve uma diluição da concentração de focos, resultando no aumento das áreas com manchas de densidade moderada, baixa e, principalmente, nula (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Distribuição dos focos de calor no estado do Maranhão entre 2007 e 2013



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

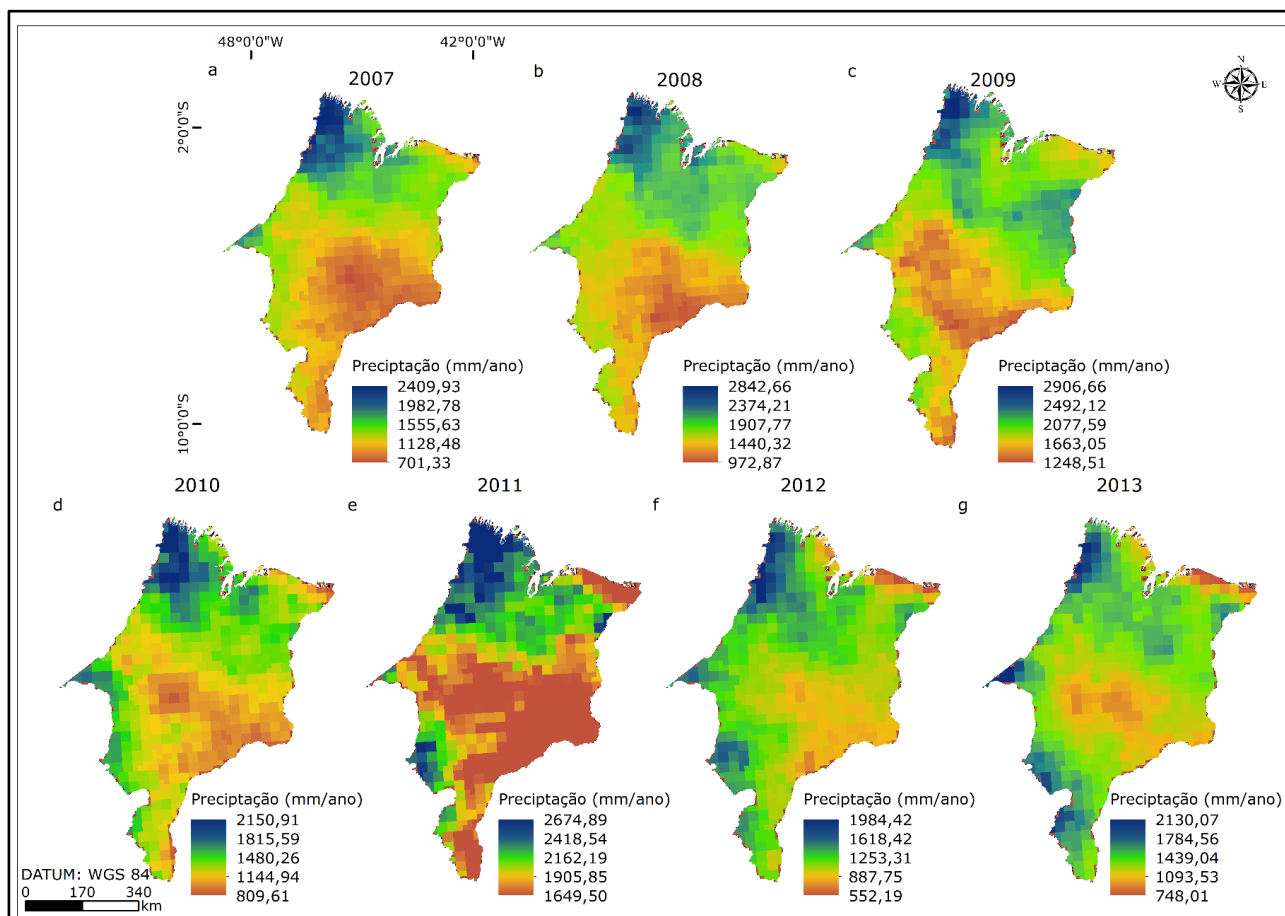
Figura 6 – Distribuição dos focos de calor no estado do Maranhão entre 2014 e 2019



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

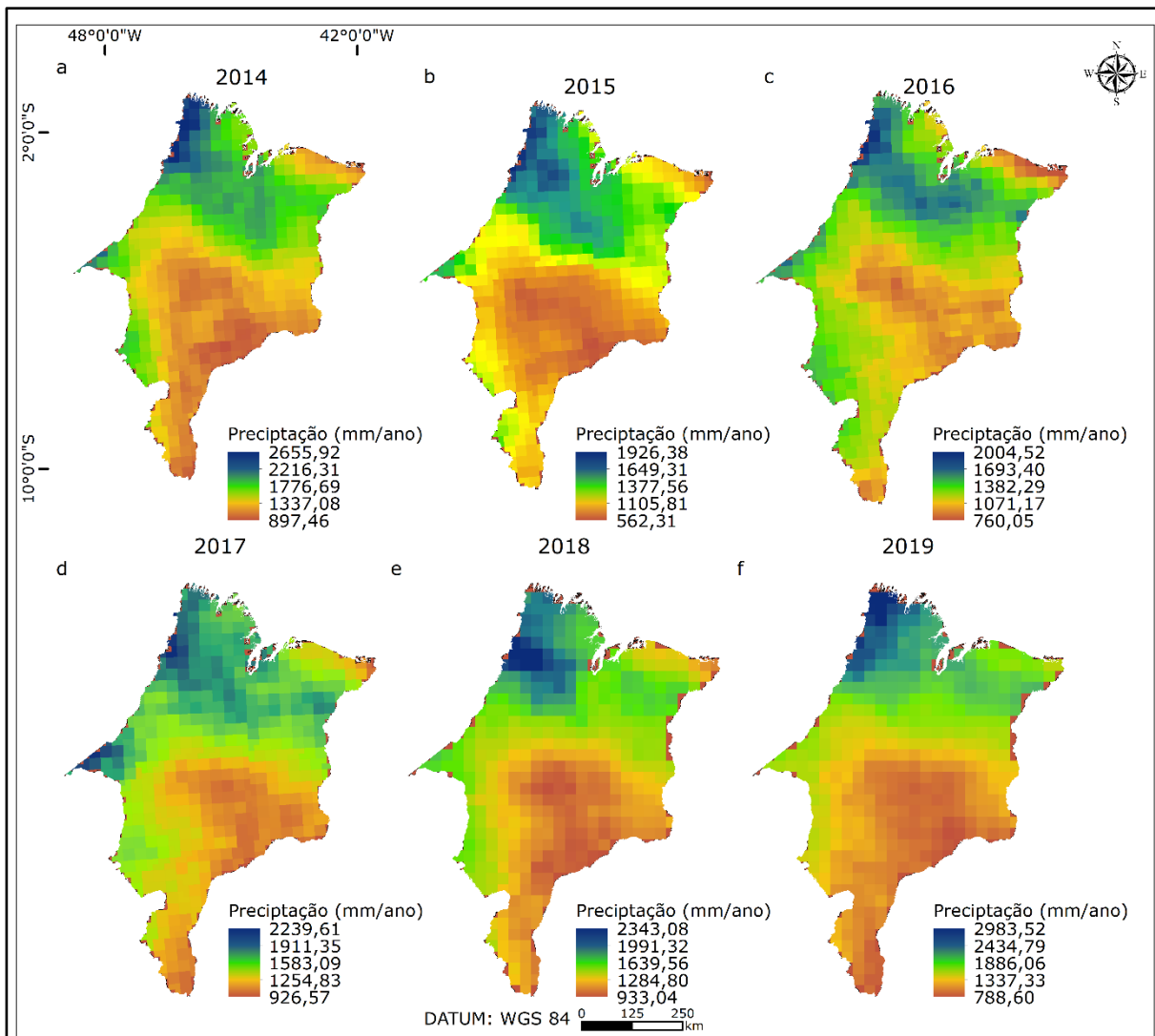
Esta região central é a que se destaca com os menores índices pluviométricos para o período de estudo (Figuras 7 e 8), de tal maneira que com a maior ocorrência dos focos de incêndio no período seco, é provável que a baixa incidência de precipitação, aliada à zona de menor incidência de chuvas do estado são fatores determinantes para modular a incidência de focos de calor no centro do estado, a qual é pertencente ao bioma cerrado.

Figura 7 - Distribuição da precipitação pluviométrica no estado do Maranhão entre 2007 e 2013



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Figura 8 – Distribuição da precipitação pluviométrica no estado do Maranhão entre 2014 a 2019



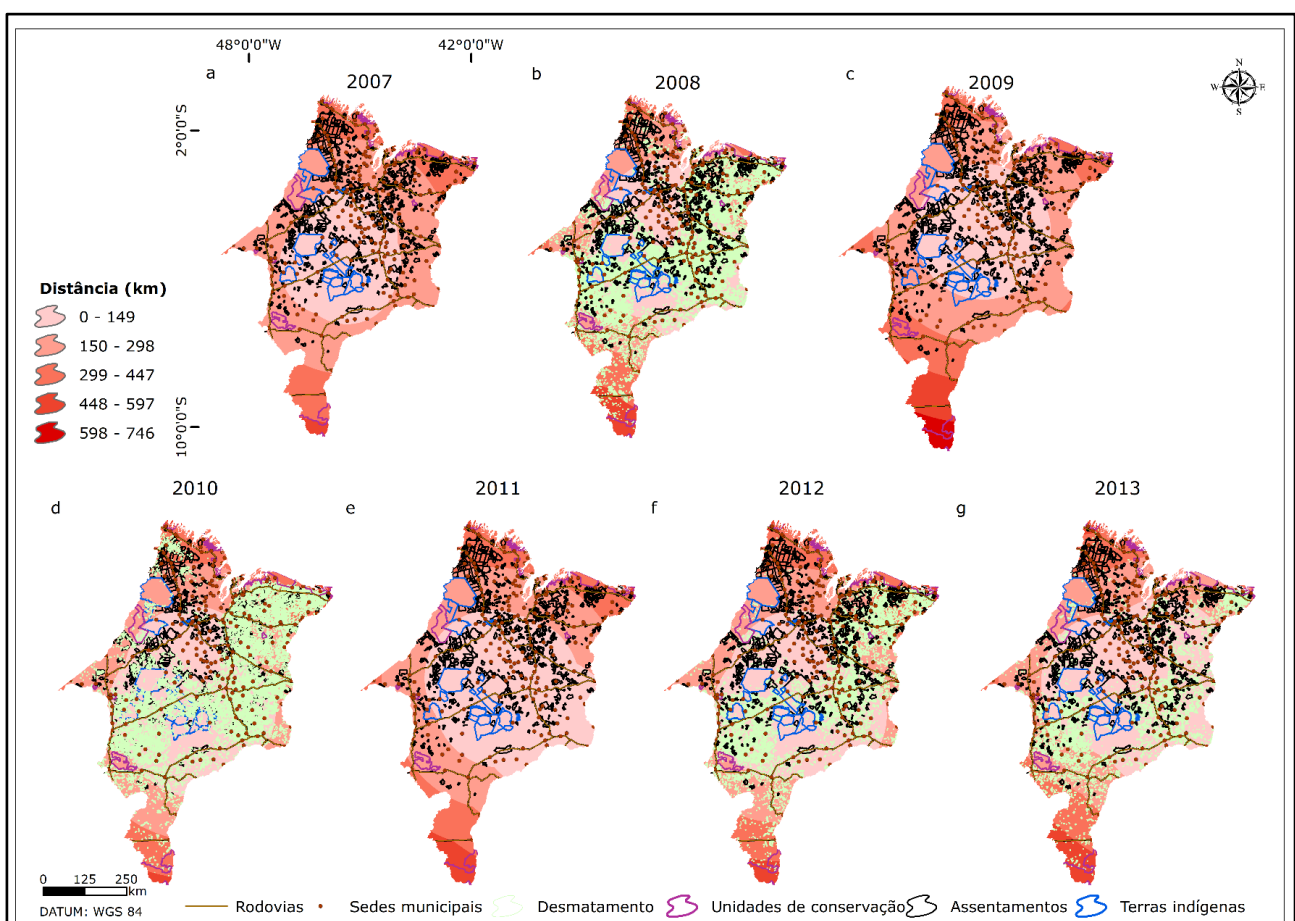
Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Para todos os anos analisados, a grande maioria das áreas desmatadas, sedes municipais, rodovias e programas de assentamento, mantiveram-se entre 0-149 km das áreas com maior concentração dos focos de calor (região central do estado). Em 2008, 2010, 2012 e 2013, há alta incidência de áreas desmatadas ao nordeste do estado, as quais estavam a 150-298 km da concentração dos focos de calor (Figura 9). Contudo, estes anos apresentaram zonas de concentração moderada e alta dos focos ao nordeste do estado (Figura 6).



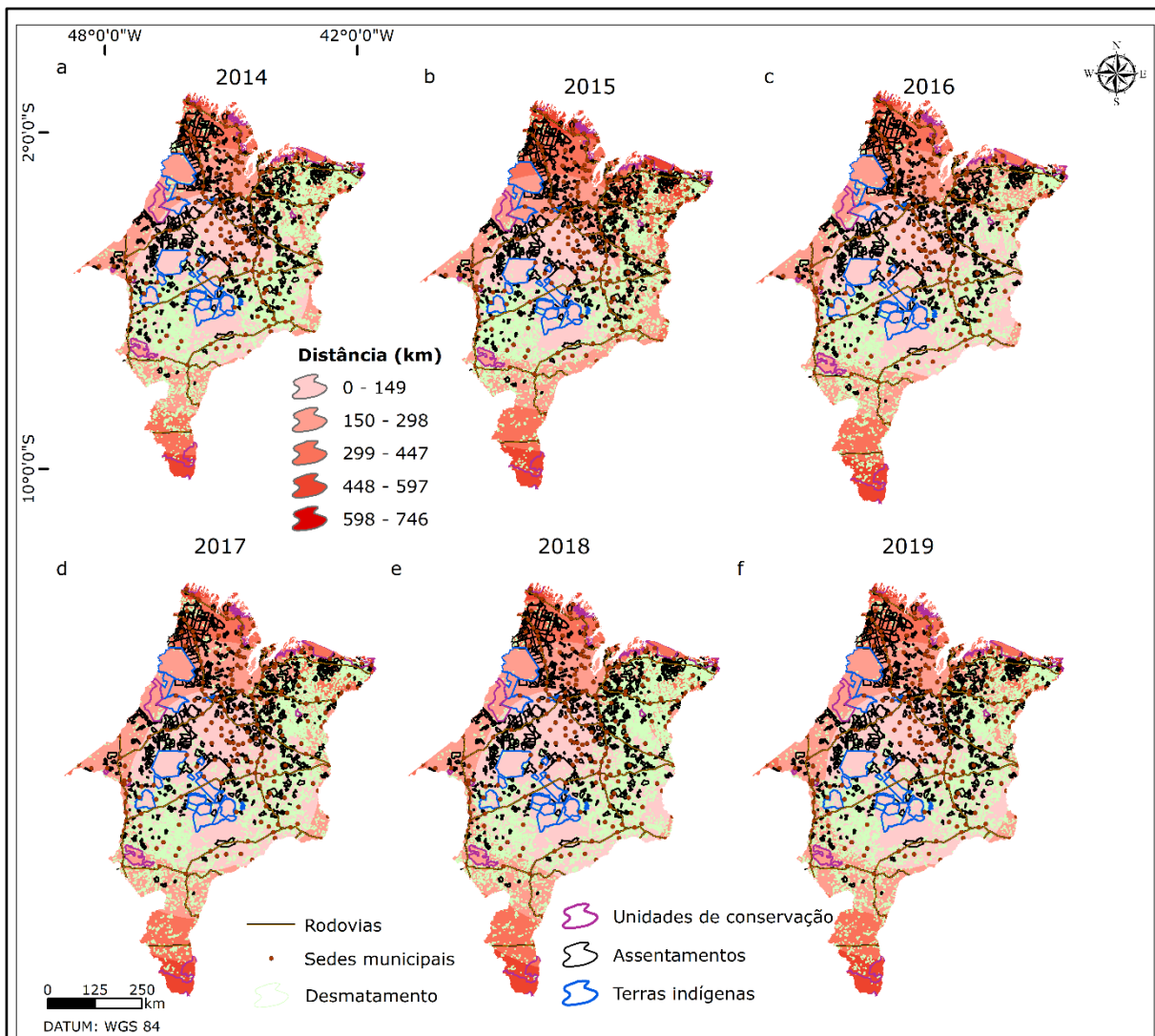
Entre 2014 e 2019, há maior presença de manchas de desmatamento no leste, nordeste, sul e sudoeste do estado do Maranhão, dos quais, os presentes na porção leste se distanciam até 149 km dos focos de calor, enquanto as áreas desmatadas distribuídas ao nordeste, se distanciam dos focos de calor entre 150-298 km e 299-447 km. O desmatamento do sul e sudoeste do estado estão nas maiores classes de distância dos focos de calor (Figura 10). Apenas uma unidade de conservação do Maranhão está entre 150-298 km da maior concentração de focos de calor, enquanto as demais estão a distância de 299-447 km (Figuras 9 e 10).

Figura 9 – Distância euclidiana das áreas de concentração alta e extrema dos focos de calor em relação as rodovias, sedes municipais, desmatamento, unidades de conservação, assentamentos e terras indígenas do Maranhão entre 2007 e 2013



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

Figura 10 – Distância euclidiana das áreas de concentração alta e extrema dos focos de calor em relação as rodovias, sedes municipais, desmatamento, unidades de conservação, assentamentos e terras indígenas do Maranhão entre 2014 a 2019



Fonte: Elaboração dos autores (2020).

## 4 DISCUSSÃO

O fenômeno *La niña* de intensidade moderada nos anos de 2007, 2008, 2011, 2017 e 2018 pode ter afetado a dinâmica dos focos de calor deste ano, devido ao acréscimo da precipitação, decréscimo das temperaturas e incremento da umidade relativa do ar (Tabela 1). Em 2019, o *El niño* pode ter auxiliado no incremento dos focos em relação a 2018. Apesar disso, houve redução dos focos de calor e do desflorestamento entre 2007 e 2019. Tal fato pode estar

relacionado com a aprovação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no estado do Maranhão, aprovado pela câmara legislativa em abril de 2011, do qual, de acordo com Celentano *et al.* (2017) e Bezerra *et al.* (2018), foi um marco para o estado, reduzindo suas taxas de desmatamento e as ocorrências de incêndios.

De maneira geral, o estado do Maranhão apresenta uma sequência histórica de grande incidência de focos de queimadas, sendo estes distribuídos geograficamente mais na porção central do estado, coincidindo com áreas de desmatamento, assentamentos, aldeias indígenas (Bacurizinho, Cana Brava/Guajajara, Kanela e Porquinhos), e próximo a rodovias, mantendo o padrão de distância entre 0-149 km para todos os anos de análise (Figuras 9-10), o que o corrobora com o resultado evidenciado em outros estudos (ARAÚJO *et al.*, 2020; ÁVILA; WADT, 2015; CASTAÑEDA ROJAS *et al.*, 2015; IBARRA-MONTOYA; HUERTA-MARTÍNEZ, 2016; KOUTSIAS *et al.*, 2013; MARÍN *et al.*, 2018; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ; CHUVIECO; KOUTSIAS, 2013).

Esta dispersão de focos, nas áreas mencionadas, está associada a adoção do fogo como prática cultural da região. Por se tratar de áreas tradicionalmente ocupadas por atividades agropecuárias, grande parte delas, em regime de agricultura familiar, na qual o uso do sistema de corte e queima é uma característica marcante, pois se traduz na forma mais eficaz e de custo mais baixo na etapa de limpeza de área para o cultivo, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de queimadas (SEMA, 2002; SILVA *et al.*, 2017). Além disso, nestes sistemas em que os investimentos tecnológicos são baixos, o fogo, na maioria das vezes, ainda é utilizado como instrumento para abertura e limpeza de área (ÁVILA; WADT, 2015; CARMETA *et al.*, 2016; DEVISSCHER *et al.*, 2016; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ; CHUVIECO; KOUTSIAS, 2013; SORRENSEN, 2004), o que pode ser observado com a sobreposição das classes focos, desmatamento, e os Projetos de Assentamento (PA) Agrícola (Figura 5).

Nesse contexto, há necessidade da utilização de técnicas alternativas ao sistema de corte e queima (ex. Alley, Tritucap) nessas comunidades, contudo, o difícil acesso dessas áreas, aliados à carência de insumos, assistência técnica, crédito e tecnologia impedem a disseminação dessas técnicas (CARMENTA *et al.*, 2016; DEVISSCHER; BOYD; MALHI, 2016; SAMPAIO; KATO; NASCIMENTO-E-SILVA, 2008).

O fogo constitui uma ferramenta impositiva, sendo utilizado por várias classes sociais no campo. Embora que seu uso seja comumente associado a atividades agropecuárias praticadas por produtores de baixo poder aquisitivo, seu baixo custo e resultados satisfatórios fazem de seu emprego essencial tanto em pequenos, médios e grandes empreendimentos agrícolas, justificando assim registros concentrações de focos às margens das principais rodovias que cortam o estado, ou seja, fora de PA's e áreas indígenas.

De acordo com os dados analisados, o padrão de ocorrência de focos de calor é modulado pela pluviosidade da região, principalmente nos períodos de baixa precipitação (Tabela 2), evidenciando a concentração de focos nos meses com menores índices pluviométricos, de tal maneira que embora a precipitação anual pode atingir altos volumes, a baixa precipitação no período de estiagem não é o suficiente para conter os focos de incêndio (Figuras 5 e 6). Neste período do ano, entre os meses de julho a novembro, é comum na região o registro de altas temperaturas, baixa umidade do solo, baixa umidade relativa do ar, o que torna a matéria orgânica depositada no solo (galhos e folhas) altamente inflamável (COELHO JUNIOR; MARTINS; CARVALHO, 2018).

O efeito do material combustível relativo às características vegetacionais também pode ser um fator agravante na propagação de queimadas, de modo que as áreas com maiores incidências de focos estão localizadas no Bioma Cerrado. Já na porção norte/oeste do estado com predominância de vegetação mais densa, característica do Bioma Amazônia, houve poucos registros de focos, contudo, estas ocorrem em terras indígenas e programas de assentamento, o

que deve ser averiguado e mitigado (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020). A alta incidência de focos neste período também se justifica pelo fato de que as etapas de limpeza de área, para implementação de atividades agropecuárias, ocorrem, normalmente, nos meses de baixa precipitação, para assim potencializar a utilização do fogo. Ou seja, apesar de ser modulado pelas características meteorológicas, a ação antrópica é uma das principais causas dos focos de queimadas (ARAÚJO *et al.*, 2020).

Contudo, ao confrontar os mapas densidade aos de chuva (Figura 5-8), se verificou que os maiores registro de focos estão geograficamente localizados em regiões que apresentaram menores volumes pluviométricos, o que reforça a hipótese de que precipitação e focos de calor são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a precipitação menor a incidência de focos de calor nessas regiões, uma vez que o preparo da terra está intimamente ligado ao período mais seco.

## **5 CONCLUSÕES**

O mapeamento dos padrões espaço-temporal dos focos de calor no estado do Maranhão evidenciou que as áreas com maior concentração dos focos de queimadas estão localizadas no bioma cerrado, mais precisamente nas mesorregiões Centro e Leste, as quais possuem menores índices pluviométricos. O maior registro dos focos foi no segundo semestre, com ápice nos meses de agosto e setembro, havendo proximidade (0-149 km) das altas concentrações ao longo das estradas, programas de assentamentos e terras indígenas, além de coincidir com áreas de desmatamento. Portanto, a incidência dos focos de calor é intrínseca à sazonalidade da precipitação aliada à ação antrópica.

É imprescindível a criação de políticas públicas que garantam aos PA's e tribos indígenas o acesso às tecnologias, insumos, crédito e assistência técnica para disseminar a utilização de métodos alternativos ao corte e queima, a fim de

mitigar a incidência do fogo, bem como seus impactos ao meio ambiente, reduzindo à incidência dos focos de calor no estado.

## REFERÊNCIAS

ABREU, F. DE A.; SOUZA, J. DO S. A. Dinâmica espaço-temporal de focos de calor em duas terras indígenas do Estado de Mato Grosso: Uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororos. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 1–10, 2016.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARAGÃO, J. G.; CONCEIÇÃO, G. M. DA. Myrtaceae: Espécies das Subtribos Eugeniinae, Myrciinae e Myrtinae Registradas para o Estado do Maranhão. **Revista Sinapse Ambiental**, p. 7–17, 2008.

ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2018.

ARAÚJO, L. O. *et al.* Ação antrópica na incidência dos focos de calor na Microrregião de Paragominas, Estado do Pará, Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 17, p. 1153–1164, 2020.

ÁVILA, M. M.; WADT, P. G. S. Avaliação do impacto ambiental em assentamentos rurais do estado do acre, na Amazônia brasileira. **Revista eletrônica de biologia**, v. 8, n. 1, p. 1-54-77, 2015.

BEZERRA, D. DA S. *et al.* Análise dos focos de queimadas e seus impactos no Maranhão durante eventos de estiagem no período de 1998 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, n. 1, p. 446–462, 2018.

BRIENEN, R. J. W. *et al.* Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature**, v. 519, n. 7543, p. 344–348, 2015.

CABRAL, A. P. DE S.; SOUZA, W. V. DE. Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU): análise da demanda e sua distribuição espacial em uma cidade do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 11, n. 4, p. 530–540, 2008.

CARDOZO, S. *et al.* Avaliação das áreas queimadas no Estado de Rondônia - Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 705–716, 2014.

CARMENTA, R. *et al.* Does the establishment of sustainable use reserves affect fire management in the humid tropics. **PLoS ONE**, v. 11, n. 2, p. 1–19, 2016.

- CASTAÑEDA ROJAS, M. F. *et al.* Evaluación forestal y de combustibles en bosques de *Pinus hartwegii* en el Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios. **Madera y Bosques**, v. 21, n. 2, p. 45–58, 2015.
- CELENTANO, D. *et al.* Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land Use Policy**, v. 68, n. July, p. 692–698, 2017.
- COELHO JUNIOR, L. M.; MARTINS, K. DE L. DA C.; CARVALHO, M. Carbon Footprint Associated with Firewood Consumption in Northeast Brazil: An Analysis by the IPCC 2013 GWP 100y Criterion. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 10, p. 2985–2993, 2018.
- CUNHA NETO, E. M. DA *et al.* Influência Antrópica E Da Precipitação Na Distribuição Espaço-Temporal De Focos De Calor Na Microrregião De Paragominas, Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, n. 1, p. 285–301, 2021.
- DEVISSCHER, T. *et al.* Increased wildfire risk driven by climate and development interactions in the Bolivian Chiquitania, Southern Amazonia. **PLoS ONE**, v. 11, n. 9, p. 1–29, 2016.
- DEVISSCHER, T.; BOYD, E.; MALHI, Y. Anticipating future risk in social-ecological systems using fuzzy cognitive mapping: The case of wildfire in the Chiquitania, Bolivia. **Ecology and Society**, v. 21, n. 4, 2016.
- GESDISC. **Document for GLDAS Version 2 Data Products**. Disponível em: <https://disc.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 18 mar. 2020.
- IBARRA-MONTOYA, J. L.; HUERTA-MARTÍNEZ, F. M. Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. **Revista Ambiente e Agua**, v. 11, n. 1, p. 35–49, 2016.
- IBGE, I. B. DE G. E E. **Geociências**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 22 mar. 2019.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **PRODES - Monitoramento de Floresta Amazônica por Satélite**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Queimadas (Monitoramento de Focos)**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em: 2 abr. 2020a.
- INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 20 mar. 2020b.
- KOUTSIAS, N. *et al.* On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations ( 1894 – 2010 ). **International Journal of Wildland Fire**, v. 22, p. 493–507, 2013.

LINDBERG, H.; PUNTTILA, P.; VANHA-MAJAMAA, I. The challenge of combining variable retention and prescribed burning in Finland. **Ecological Processes**, v. 9, n. 1, 2020.

MAPBIOMAS DEVELOPMENT TEAM. **Coleções MAPBIOMAS**. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 16 fev. 2019.

MARÍN, P. *et al.* Drought and Spatiotemporal Variability of Forest Fires Across Mexico. **Chinese Geographical Science**, v. 27, n. 6, p. 1–13, 2018.

MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; CHUVIECO, E.; KOUTSIAS, N. Modelling long-term fire occurrence factors in Spain by accounting Atmospheric for local variations with geographically weighted regression. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, p. 311–327, 2013.

MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. DE. **Amazônia Maranhense : Diversidade e Conservação**. Museu Para ed. Belém: [s.n.].

MEDEIROS, M. B. DE; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157–168, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Download de dados geográficos**. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 2 fev. 2020.

MORITZ, M. A. *et al.* Learning to coexist with wildfire. **Nature**, v. 5, p. 58–66, 2014.

OLIVEIRA, U. C.; DE OLIVEIRA, P. S. Mapas de Kernel como Subsídio à Gestão Ambiental: Análise dos Focos de Calor na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos Anos 2010 a 2015. **Espaço Aberto**, v. 7, n. 1, p. 87–99, 2017.

PALAIOLOGOU, P.; KALABOKIDIS, K.; KYRIAKIDIS, P. Forest mapping by geoinformatics for landscape fire behaviour modelling in coastal forests, Greece. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 12, p. 4466–4490, 2013.

PEREIRA, J. A. V.; SILVA, J. B. DA. Detecção De Focos De Calor No Estado Da Paraíba: Um Estudo Sobre As Queimadas. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, n. 1, p. 5–16, 2016.

PHILLIPS, O. L. *et al.* Drought sensitivity of the amazon rainforest. **Science**, v. 323, n. 5919, p. 1344–1347, 2009.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS versão 2.18 Las Palmas**, 2016.

ROBINNE, F.-N. *et al.* **Global Fire Challenges in a Warming World**. 1. ed. Vienna: IUFRO, 2018.

ROWLAND, L. *et al.* Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 119–122, 2015.



- SALES, G. M. *et al.* Emprego dos focos de calor na avaliação das áreas queimadas e em incêndios florestais em Paragominas, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 14, n. 1, p. 55–77, 2019.
- SAMPAIO, C. A.; KATO, O. R.; NASCIMENTO-E-SILVA, D. Sistema De Corte E Trituração Da Capoeira Sem Queima Como Alternativa De Uso Da Terra, Rumo à Sustentabilidade Florestal No Nordeste Paraense. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 41–53, 2008.
- SEMA-SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS DO MARANHÃO. **Atlas do Maranhão**. SãoLuís: G ed. São Luís: Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico/ Laboratório de Geoprocessamento, 2002.
- SILVA, M. N. DA *et al.* A seca no Maranhão no período de 2010 a 2016 e seus impactos. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 119–138, 2017.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Fire responses to the 2010 and 2015/2016 Amazonian droughts. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, n. May, p. 1–16, 2019.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. **Land Use Policy**, v. 97, n. May, p. 104806, 2020.
- SORRENSEN, C. Contributions of fire use study to land use/cover change frameworks: Understanding landscape change in agricultural frontiers. **Human Ecology**, v. 32, n. 4, p. 395–420, 2004.
- SYPHARD, A. D.; KEELEY, J. E.; BRENNAN, T. J. Comparing the role of fuel breaks across southern California national forests. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 11, p. 2038–2048, 2011.
- THOMPSON, M. P. *et al.* Integrated national-scale assessment of wildfire risk to human and ecological values. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, n. 6, p. 761–780, 2011.
- TOMZHINSKI, G. W. T.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. DO C. Avaliação Da Detecção De Focos De Calor Por Sensoriamento Remoto Para O Parque Nacional Do Itatiaia. **Biodiversidade Brasileira**, v. Ano I, n. 2, p. 201–2011, 2011.
- TONINI, M. *et al.* Evolution of forest fires in Portugal : from spatio- temporal point events to smoothed density maps. **Nat Hazards**, v. 85, p. 1489–1510, 2016.
- TORRES, F. T. P. *et al.* Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1–10, 2017.
- TSIOURLIS, G.; ANDREADAKIS, S.; KONSTANTINIDIS, P. SITHON: A wireless network of in situ optical cameras applied to the early detection-notification-monitoring of forest fires. **Sensors**, v. 9, n. 6, p. 4465–4482, 2009.



## Contribuições de autoria

### 1 – Ernandes Macedo da Cunha Neto:

Mestre em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0001-6775-0365> • [netomacedo878@gmail.com](mailto:netomacedo878@gmail.com)

Contribuição: Download, análise e processamento dos dados, elaboração e revisão do manuscrito.

### 2 – Jade Cristynne Franco Bezerra:

Mestre em Produção Vegetal

<https://orcid.org/0000-0001-6844-0131> • [jadefranco9@gmail.com](mailto:jadefranco9@gmail.com)

Contribuição: Elaboração e revisão do manuscrito.

### 3 – Marks Melo Moura:

Mestre em Ciências Florestais

<https://orcid.org/0000-0002-2964-8527> • [marksmoura@yahoo.com.br](mailto:marksmoura@yahoo.com.br)

Contribuição: Download, análise e processamento dos dados, elaboração e revisão do manuscrito.

### 4 – Emmanoella Costa Guaraná Araujo:

Mestre em Ciências Florestais

<https://orcid.org/0000-0002-4493-904X> • [manugarana@gmail.com](mailto:manugarana@gmail.com)

Contribuição: Elaboração e revisão do manuscrito.

### 5 – Marcio Roberto da Silva Melo:

Doutor em Engenharia Agrícola

<https://orcid.org/0000-0002-2649-8869> • [mrs Melo@yahoo.com.br](mailto:mrs Melo@yahoo.com.br)

Contribuição: Elaboração e revisão do manuscrito.

### 6 – Núbia de Fátima Alves dos Santos:

Doutora em Ciências Agrárias

<https://orcid.org/0000-0001-7725-1412> • [nubia.santos@ufra.edu.br](mailto:nubia.santos@ufra.edu.br)

Contribuição: Elaboração e revisão do manuscrito.

### 7 – Luciana da Silva Borges:

Doutora em Agronomia

<https://orcid.org/0000-0002-1194-6411> • [luciana.borges@ufra.edu.br](mailto:luciana.borges@ufra.edu.br)

Contribuição: Elaboração e revisão do manuscrito.

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

NETO, E. M. da C. *et al.* Identificação espaço-temporal dos padrões de focos de calor no estado do Maranhão. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 43, e99, p. 01-26, 2021. DOI 10.5902/2179460X64834. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X64834>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.