



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SÁVIA MARIA COSTA PEREIRA

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR NA REGIÃO  
HIDROGRÁFICA TOCANTINS ARAGUAIA, SITUADA EM PARTE DA AMAZÔNIA  
ORIENTAL E DO CERRADO BRASILEIRO (2005-2020)**

**SPATIAL-TEMPORAL EVALUATION OF HOT POINTS IN THE TOCANTINS  
ARAGUAIA HYDROGRAPHIC REGION, LOCATED IN PART OF THE EASTERN  
AMAZON AND BRAZILIAN CERRADO (2005-2020)**

TUCURUÍ-PA

2022

SÁVIA MARIA COSTA PEREIRA

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR NA REGIÃO  
HIDROGRÁFICA TOCANTINS ARAGUAIA, SITUADA EM PARTE DA  
AMAZÔNIA ORIENTAL E DO CERRADO BRASILEIRO (2005-2020)**

**SPATIAL-TEMPORAL EVALUATION OF HOT POINTS IN THE TOCANTINS  
ARAGUAIA HYDROGRAPHIC REGION, LOCATED IN PART OF THE  
EASTERN AMAZON AND BRAZILIAN CERRADO (2005-2020)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador(a): Prof<sup>o</sup>. Me. Mayke Feitosa Progênio.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

C837t Costa Pereira, Savia Maria.  
TÍTULO: AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR NA REGIÃO HIDROGRÁFICA TOCANTINS ARAGUAIA, SITUADA EM PARTE DA AMAZÔNIA ORIENTAL E DO CERRADO BRASILEIRO (2005-2020) / Savia Maria Costa Pereira. — 2022.  
x, 15 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Mayke Feitosa Progênio  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Tucuruí, 2022.

1. Bacias Hidrográficas. 2. Sistema de Informação Geográfica. 3. Queimadas. 4. Densidade de Kernel. I. Título.

CDD 620.8

---

SÁVIA MARIA COSTA PEREIRA

**TÍTULO: AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE FOCOS DE CALOR NA  
REGIÃO HIDROGRÁFICA TOCANTINS ARAGUAIA, SITUADA EM PARTE DA  
AMAZÔNIA ORIENTAL E DO CERRADO BRASILEIRO (2005-2020)**

**SPATIAL-TEMPORAL EVALUATION OF HOT POINTS IN THE TOCANTINS  
ARAGUAIA HYDROGRAPHIC REGION, LOCATED IN PART OF THE EASTERN  
AMAZON AND BRAZILIAN CERRADO (2005-2020)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental,  
do Campus Universitário de Tucuruí, da  
Universidade Federal do Pará, como requisito  
parcial para obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação: 06/12/2022

Conceito: Excelente

**BANCA EXAMINADORA**

MAYKE FEITOSA Assinado de forma digital  
por MAYKE FEITOSA  
PROGENIO:01287504213  
7504213 DADOS: 2022.12.09 20:21:43

---

Prof. Me. Mayke Feitosa Progênio  
Orientador – FAESA/UFPA

Documento assinado digitalmente



Junior Hiroyuki Ishihara  
Data: 13/12/2022 15:30:57-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara  
Examinador Interno – FAESA/UFPA

Documento assinado digitalmente



RAFAEL MELO DE BRITO  
Data: 14/12/2022 18:33:49-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Me. Rafael Melo de Brito Examinador  
Externo – SEMAS-PA

Dedico este trabalho à minha mãe do coração,  
Maria dos Remédios Lima, que sempre sonhou  
os sonhos mais lindos para minha vida, que  
sempre acreditou e se propôs a realizar todos os  
meus e nunca desistiu de mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo milagre da vida, por sempre ter me conduzido por caminhos corretos, por nunca me desamparar quando mais preciso e por ter me sustentado até aqui.

Agradeço aos meus familiares por sempre acreditarem em mim e pela compreensão nos muitos momentos que precisei me ausentar enquanto me dedicava as demandas acadêmicas, em especial, minha avó materna Maria Gorete, que não está entre nós, mas se faz presente nas minhas melhores lembranças.

Agradeço aos meus amigos de vida que sempre estiveram ao meu lado pela amizade incondicional e agradeço também as minhas amigadas construídas no CAMTUC pela rede de apoio formada ao longo desses cinco anos.

Agradeço ao meu orientador, Mayke Feitosa Progênio, por ter desempenhado sua função com muita dedicação, paciência, amizade e compreensão nos momentos difíceis.

Agradeço a Universidade Federal do Pará por todo o suporte durante a graduação, aos professores que se dedicaram a transferir da melhor forma o seu conhecimento acadêmico e pessoal e a todos que contribuíram de alguma forma para que a finalização deste curso se tornasse possível.

"Vá fundo dentro de si mesmo, pois há uma fonte de benevolência preparada para fluir se você continuar." (Marcus Aurelius)

## RESUMO

As queimadas atuam como uma prática de baixo custo empregada às técnicas culturais exercidas por pequenos e grandes produtores rurais em atividades econômicas desenvolvidas em propriedades agrícolas. Este estudo teve por finalidade avaliar no espaço e tempo os Focos de Calor (FC) da Região Hidrográfica Tocantins Araguaia (RHTA), durante um período de 16 anos (2005-2020). Para analisar as causas dos FC's foram produzidos mapas de calor empregando o estimador de Densidade Kernel, mapas de precipitação e uso e cobertura da terra, obtidos nas bases de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do satélite Merged Satellite-Gauge Precipitation Estimate – Final Run (GPM\_3IMERGM) versão 0.7 e do Projeto MapBiomass, respectivamente. Para trabalhar os dados obtidos, utilizou-se o *software* Qgis, versão 3.10 A Coruña. Os resultados mostram que o estimador de Kernel foi eficiente na análise e correlação dos dados e as sub-bacias do Tocantins Baixo e Rio Araguaia apresentam a maior densidade pluviométrica e de FC. Conclui-se que somente a variável de precipitação anul não foi suficiente para justificar a intensidade de FC verificada, as queimadas e desmatamentos na bacia são para fins do agronegócio e que a presença das Unidades de Conservação de Uso Sustentável e Integral, bem como as Terras Indígenas atuam com um mecanismo de conservação na RHTA. Além disso, este trabalho poderá ser utilizado como ferramenta de monitoramento de FC, este servirá como subsídio para gestão dos recursos naturais e mitigação contra futuras potenciais perdas e danos associados ao impacto das mudanças climáticas da RHTA.

**Palavras-chave:** Bacias Hidrográficas; Sistema de Informação Geográfica; Queimadas; Densidade de Kernel



## **ABSTRACT**

Burning acts as a low-cost practice used in cultural techniques carried out by small and large rural producers in economic activities developed on agricultural properties. This study aimed to evaluate in space and time the Heat Spots (FC) of the Tocantins Araguaia Hydrographic Region (TAHR), during a period of 16 years (2005-2020). To analyze the causes of the CF's, heat maps were produced using the Kernel Density estimator, maps of precipitation and land use and land cover, obtained from the databases of the National Institute for Space Research (INPE), through the Merged Satellite- Gauge Precipitation Estimate – Final Run (GPM\_3IMERGM) version 0.7 and the MapBiomas Project, respectively. To work with the data obtained, the Qgis software, version 3.10 A Coruña, was used. The results show that the Kernel estimator was efficient in the analysis and correlation of the data and the Tocantins Baixo and Rio Araguaia sub-basins present the highest rainfall and FC density. It is concluded that the annual precipitation variable alone was not enough to justify the CF intensity verified, the fires and deforestation in the basin are for agribusiness purposes and that the presence of Conservation Units of Sustainable and Integral Use, as well as the Lands Indigenous people act as a conservation mechanism in the *TAHR*. In addition, this work can be used as a CF monitoring tool, this will serve as a subsidy for natural resource management and mitigation against future potential losses and damages associated with the impact of climate change from the *TAHR*.

**Keywords:** Hydrographic Basins; Geographic Information System; Burns; Kernel Density

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Área de estudo</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Caracterização Climatológica</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>13</b>
2.3.1	Focos de Calor e Densidade de Kernel	13
2.3.2	Precipitação Média Anual	14
2.3.3	Uso e Cobertura da Terra	15
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>21</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>21</b>
	<b>ANEXO A – Título do anexo</b>	<b>25</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O efeito destrutivo do fogo é comum em áreas rurais, urbanas e nos biomas existentes no Brasil, sendo que as principais causas são devido às atividades agrícolas, pecuária, desmatamento, fatores climáticos, entre outros (Pereira & Silva, 2016; Correia et al., 2019; Silva, 2020; Oliveira Júnior et al., 2020). À vista disso, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, nos anos de 2000 a 2018 o bioma Amazônia e o Cerrado, foram os que apresentaram os maiores quantitativos de redução de áreas naturais entre todos os biomas brasileiros (IBGE, 2017) e, ainda que o Cerrado seja um ecossistema adaptado ao fogo, o bioma vem sofrendo com os impactos das queimadas. A expansão da fronteira agrícola, exploração ilegal de madeira, bem como os grandes projetos minerometalúrgicos e ao crescimento urbano desordenado são fatores que estão diretamente ligados ao desmatamento na Amazônia (Bispo & Pimentel, 2018).

Nesta circunstância, as queimadas surgem como uma prática de baixo custo empregada às práticas culturais exercidas por pequenos e grandes produtores rurais em atividades econômicas desenvolvidas em suas propriedades agrícolas. Diante de modelos de produção mais modernos, considerados mais progressivos, alguns agricultores da Amazônia Oriental continuam a manejar os recursos naturais de forma tradicional visando o melhor aproveitamento dos agroecossistemas, muito embora estas práticas não estejam totalmente isentas do uso de insumos e riscos de incêndios devido à prática do corte e queima (L. Resque et al., 2019). Dessa forma, as queimadas tem se configurado como um grande problema ambiental no Brasil, visto que a queima de biomassa gera outros sérios problemas, como a liberação de gases de efeito estufa e fortes prejuízos à fauna e à flora com relação à redução da biodiversidade de espécies.

Estudos recentes no norte da Amazônia verificaram o aumento da mortalidade de árvores e a redução do estoque de carbono florestal em anos considerados de *El Niño* severo (M. Condé, Higuchi & J. N. Lima, 2019) os autores complementam também que esses eventos de seca extrema e o aumento de incêndios florestais levantam preocupações sobre a perda de biodiversidade e a redução dos estoques de carbono na Amazônia.

Para se obter sucesso no manejo de bacias hidrográficas, é necessário compreender o comportamento físico dos solos, associados à cobertura vegetal, neste sentido, recomenda-se ferramentas que contribuam para esse manejo, que se tem, por exemplo, o geoprocessamento. O estudo do uso e cobertura do solo torna-se altamente viável quando avaliado no espaço-tempo de forma prática e eficaz, com baixo custo operacional (da Silva, Blanco & de Oliveira, 2022).

Assim, o uso do geoprocessamento garante, com boa exatidão, a distribuição espacial e temporal do uso do solo, bem como, possíveis desmatamentos e queimadas, confrontando tais informações à capacidade de uso ou aptidão a certas atividades que a bacia venha desenvolver. Além disso, a aplicação de ferramentas, como a geoestatística e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para geração de mapas, permitem que sejam feitas análises com bom nível de precisão (Gomes, Blanco & Pessoa, 2018). Por isso, adotou-se esta ferramenta neste estudo, para auxiliar na análise de uso e ocupação do solo da bacia estudada.

Posto isto, é notório a importância do uso de geotecnologias como ferramenta de identificação dos Focos de Calor (FC), visando compreender o comportamento das queimadas, principalmente, em regiões situadas em novas fronteiras agrícolas de *commodities* e de outras práticas associadas às atividades agropecuárias, como por exemplo, a Região Hidrográfica Tocantins Araguaia (*RHTA*). Portanto, a definição de regiões com maior probabilidade de ocorrer o fogo, torna-se um instrumento imprescindível para auxiliar no planejamento da prevenção e combate a incêndios, e posteriormente a conservação do meio ambiente.

### Objetivo Geral

O presente estudo pretende avaliar por meio do SIG o comportamento espaço-temporal dos índices de focos de calor na *RHTA* no período de 2005 a 2020.

### Objetivos específicos

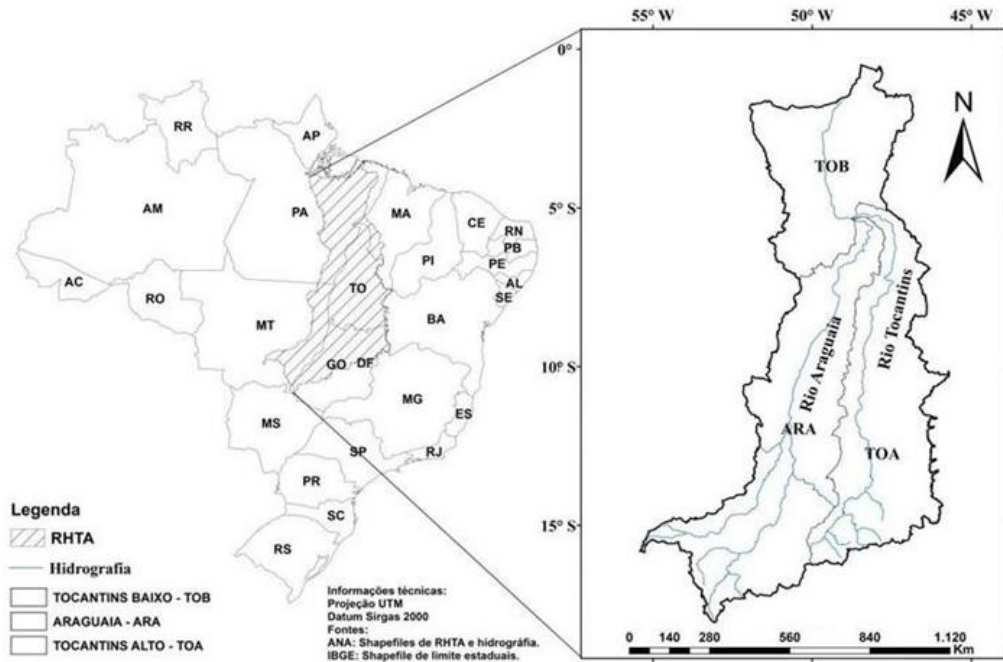
- Correlacionar a densidade de focos de calor com a precipitação média anual da área de estudo;
- Correlacionar a densidade de focos de calor com o uso e cobertura do solo da área de estudo;

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 2.1 Área de estudo

A *RHTA* é uma das maiores bacias hidrográficas existentes no Brasil em termos de área e vazão, estando em primeira posição a bacia do Amazonas. A área de drenagem da *RHTA* é de 918.822 km<sup>2</sup>, seus limites estão presentes no território autônomo do Distrito Federal (0,1%) e por 5 estados das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, sendo eles: Maranhão (3,4%), Mato Grosso (14,7%), Goiás (21,3%), Tocantins (30,2%) e Pará (30,3%), localizada entre o paralelo sul 0° 30' e 18° 05' e os meridianos de longitude oeste 45° 45' e 56° 20' (Progênio & Blanco, 2020).

Conforme descrito pelos autores, a *RHTA* ainda pode ser subdividida em 3 sub bacias: Tocantins Baixo (*TOB*), Tocantins Alto (*TOA*) e Araguaia (*ARA*), conforme a Figura 1.



**Fig. 1** Localização da RHTA

Fonte: Adaptado de Progênio e Blanco (2020)

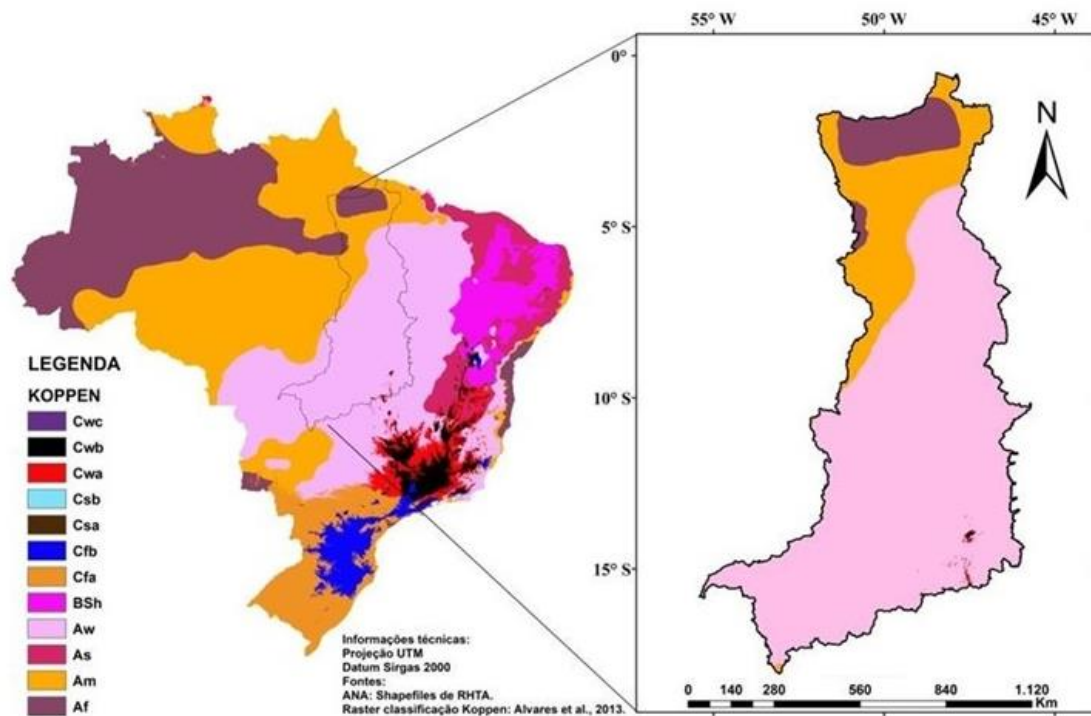
De acordo com Falck, Maggioni, Tomasella e Diniz (2015) os rios Tocantins e Araguaia são os dois principais da *RHTA*. O rio Tocantins é formado na parte sul da bacia no planalto de Goiás, a cerca de 1000 metros de altitude, pelos rios Maranhão e das Almas, sua extensão é de 1.960 km até a sua Foz na Baía do Marajó. Seu principal afluente é o rio Araguaia, que flui 1.670 km antes de sua confluência com o Tocantins. Na margem direita do Tocantins merece destaque os seguintes afluentes: Bagagem, Tocantinzinho, Paranã, Sonos, Manoel Alves Grande e Farinha; já na margem esquerda, ficam os rios Santa Teresa e Itacaiúnas.

A *RHTA* apresenta dois biomas: a Floresta Amazônica, que se localiza nas porções norte e noroeste da bacia 35%, e o Cerrado, que ocupa os 65% restantes. O bioma Amazônico é constituído por diversos ecossistemas: floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta, floresta estacional decidual e semidecidual, campinarana, formações pioneiras, refúgios montanos, savana amazônica, matas de terra firme, matas de várzeas e matas de igapó.

No bioma Cerrado, são registrados três principais formações vegetais, a floresta, a savana e o campo, estes apresentam diferentes níveis de densidades de árvores, umidade, além da disponibilidade de seus recursos (Evangelista, Oliveira & Frizzas, 2022). Nos dois biomas citados, existe o Ecótono Amazônia-Cerrado, que está situado ao sul da sub-bacia *TOB*, e ao norte do Tocantins e a noroeste e norte da sub-bacia *ARA*. Por outro lado, o Ecótono Cerrado-Caatinga se localiza a nordeste do Tocantins (Valente, Latrubesse, & Ferreira, 2013).

## 2.2 Caracterização Climatológica

A maioria da *RHTA*, segundo Alvares, Stape, Sentelhas, e Moraes (2013a) possui temperatura média anual acima de 26°C, contudo, nas porções noroeste da sub bacia *ARA* e sudeste da *TOA*, as temperaturas médias anuais variam de 23°C a 26°C. Para classificação climática da *RHTA*, utilizou-se a atualização mais recente de Köppen-Geiger para os tipos de climas brasileiros, realizada por Alvares, Stape, Sentelhas e Sparovek (2013b), seguindo a classificação dos autores que disponibilizaram as informações em forma de mapa com resolução de 100 metros, gerou-se a Figura 2.



**Fig. 2** Tipos de clima da RHTA  
 Fonte: Adaptado de Alvares et al. (2014b).

Segundo a Figura 2, a *RHTA* possui cinco climas característicos, estes estão representados abaixo (Tabela 1):

**Tabela 1** – Classificação Climática da *RHTA*

Clima	Tipo	Precipitação
Af	Úmido megatérmico	< 3.000 mm
Am	Tropical úmido megatérmico	2.000 mm
Aw	Quente úmido megatérmico	1.700 mm
Cwa	Subtropical	1.500 mm
Cwb	Temperado marítimo	1.400mm

Os climas Cwa e Cwb são influenciados por elevadas altitudes (Rolim, Camargo, Lania, & Moraes, 2007).

## 2.3 Metodologia

### 2.3.1 Focos de Calor e Densidade de Kernel

Atualmente, são várias as tecnologias para detecção de queimadas. Utilizam-se postos de vigilância, monitoramento aéreo e imagens de satélites. Neste estudo, as informações dos FC's foram retiradas do Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas) (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>) que é um portal desenvolvido pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<https://www.gov.br/inpe/pt-br>) que gerencia a ocorrência de FC e queimadas sobre a América do Sul a partir de satélites ambientais (CPTEC, 2022).

Neste estudo, o satélite AQUA (2002/dias atuais), atual satélite de referência do INPE, foi utilizado para compor a série temporal Setzer, Morelli e Sousa (2019), sendo os dados obtidos em formato *shapefile* e *csv*, no período de 2005 a 2020. Dentre os anos analisados, destaca-se o ano de 2012 em que, com vistas a regularizar os passivos ambientais foi sancionada a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, nº 12.651/2012, também conhecida como Novo Código Florestal (Gontijo, Borges, Laudares, & Barros, 2019), possibilitando assim, uma visualização clara da dos *FC* antes e após a aprovação do Novo Código Florestal.

Os dados de *FC's*, bem como as outras análises, foram estruturados a partir do Sistema de Informação Geográfica (*SIG*), no *software* Qgis versão 3.10 A Coruña onde foi inserido os arquivos vetoriais e raster correspondentes aos limites territoriais da *RHTA* para a avaliação correta. Após a realização da plotagem dos *FC's*, a distribuição dos padrões de pontos foi modelada utilizando o método estimador de densidade de Kernel com auxílio da ferramenta “Mapa de Calor”. Segundo Barbosa et al. (2019), método de densidade de Kernel consiste em uma função bidimensional que estabelece a intensidade do ponto de um determinado fenômeno, o qual varia conforme ao raio de influência.

O método de densidade de Kernel foi baseado em Smith, Goodchild e Longley (2015) e expresso pela Eq. (1):

$$F(s, b) = n^{-1} b^2 \sum_{i=1}^n K \left\{ \frac{(s-s_i)}{b} \right\} \quad (1)$$

Em que:

$n$  é o número total de observações;

$b$  é o parâmetro de suavização;

$s$  é a coordenada vetor;

$s_i$  é o vetor de coordenadas que representa cada observação; e

$K$  é a densidade função que satisfaz a seguinte condição dada pela Eq. (2):

$$\int K(s) ds = 1 \quad (2)$$

Este método é amplamente empregado na literatura devido sua precisão na identificação espacial de áreas comuns com maior incidência de *FC* (Freitas et al., 2020; Marinho et al., 2021; Menezes et al, 2019). Com base nos resultados da densidade de Kernel, foram criados os mapas de focos de calor classificado com os níveis de cor e tonalidade de densidades utilizados no estudo de Abreu e Souza (2016) que variam conforme o Tabela 2.

**Tabela 2** – Classificação dos intervalos de densidade de focos de calor

Densidade Focos de Calor	Cores
Muito Alta	Vermelho
Alta	Laranja
Moderada	Amarelo
Baixa	Verde
Muito baixa	Branco

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2020)

Para auxiliar o monitoramento de queimadas, o INPE fornece por meio do Banco de Dados de Queimadas, as coordenadas dos *FC* acompanhadas de data e hora da ocorrência, bem como, informações adicionais, a saber: se durante o dia choveu ou não, proximidade dos focos e o sensor utilizado. Informações essas, que podem ser disponibilizadas em uma tabela de atributos ou vetores em formato de pontos e estes armazenados em um arquivo com a extensão *shapefile*.

### 2.3.2 Precipitação Média Anual

Para a análise da precipitação pluvial na *RHTA*, usou-se dados pluviais do satélite Merged Satellite-Gauge Precipitation Estimate – Final Run (GPM\_3IMERGM) versão 0.7 e recomendado para usos gerais, no formato GeoTIFF e unidades em mm/mês por meio da plataforma Nasa Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). A missão Global Precipitation Measurement (*GPM*) é de última geração e está sucedendo os produtos de precipitação por satélite do Tropical Rainfall Measuring Mission (*TRMM*) que até então era considerado o mais preciso (Ahmed, Janadi, Zhang, Yang, Saddique & Krebs, 2022). Os produtos *GPM* têm maior resolução espacial e temporal (0,1°0,1° e 30 min, respectivamente) do que os produtos de precipitação *TRMM* (0,25°0,25° e 3 h, respectivamente) (Huffman et al., 2020). Assim sendo, são vários os produtos de precipitação de satélites desenvolvidos e neste sentido, muitos são os estudos para analisar

a eficiência de todos.

Ahmed et al. (2022), em seu estudo de comparação de simulações de fluxo com produtos GPM IMERG subdiários e diários sobre uma bacia hidrográfica transfronteiriça do Rio Chenab em Punjab na Índia, afirma que recentemente vários outros estudos também confirmaram a confiabilidade das séries de precipitação baseadas em GPM e outras em escalas de tempo diárias e mensais. Sendo um deles o de Lu, Wei, Tang e Zhang (2018) comparou o IMERG mensal (3IMERGM) e o TRMM mensal (3B43V7) sobre Xinjiang, China, e concluiu que 3IMERGM tem um viés relativo menor (RB=7,76%) do que 3B43V7 (RB=10,24%), enquanto 3IMERGM tem um coeficiente de correlação mais alto (CC=0,68) do que 3B43V7 (CC=0,62). No geral, os resultados apresentados confirmaram que o 3IMERGM superou o 3B43V7.

Estes dados foram trabalhados no mesmo *software* do item anterior, por meio da função “Calculadora Raster” resultando em dados pluviométricos em mm/ano, após isso, utilizou-se a função “Estatísticas Zonais” para obter a média da precipitação anual e posteriormente, produziram-se os mapas de séries temporais de precipitações pluviiais. Com o intuito de verificar como as variáveis de FC e precipitação estão associadas entre si ao longo dos anos estudados, foi empregado o uso coeficiente do Correlação do produto-momento de Pearson. Em estatística, o coeficiente de correlação de Pearson é um coeficiente de correlação linear para medir a relação ou associação de duas variáveis, desenvolvido por Karl Pearson com amplas aplicações (Deng, J, Deng, Y, & Cheong, 2021). A correlação de Pearson tenta traçar uma linha de melhor ajuste através dos dados de duas variáveis, e o coeficiente de correlação de Pearson, indica a que distância todos esses pontos de dados estão dessa linha de melhor ajuste (Obilor e Amadi, 2018), expressa na Eq. (3).

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum xy - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum x^2 - \bar{x}^2\right) \left(\frac{1}{N} \sum y^2 - \bar{y}^2\right)}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

$r$  é o Coeficiente de Correlação do Momento do Produto de Pearson;

$\sum xy$  é a soma dos produtos de  $x$  e  $y$ ;

$\bar{x}$  é a média dos valores de  $x$ ;

$\bar{y}$  é a média dos valores de  $y$ ;

$\bar{x}\bar{y}$  é produto dos valores médios de  $x$  e  $y$ ;

$\sum x^2$  é a soma dos quadrados dos valores  $x$ ;

$\sum y^2$  é a soma dos quadrados dos valores  $y$ .

### 2.3.3 Uso e cobertura da terra

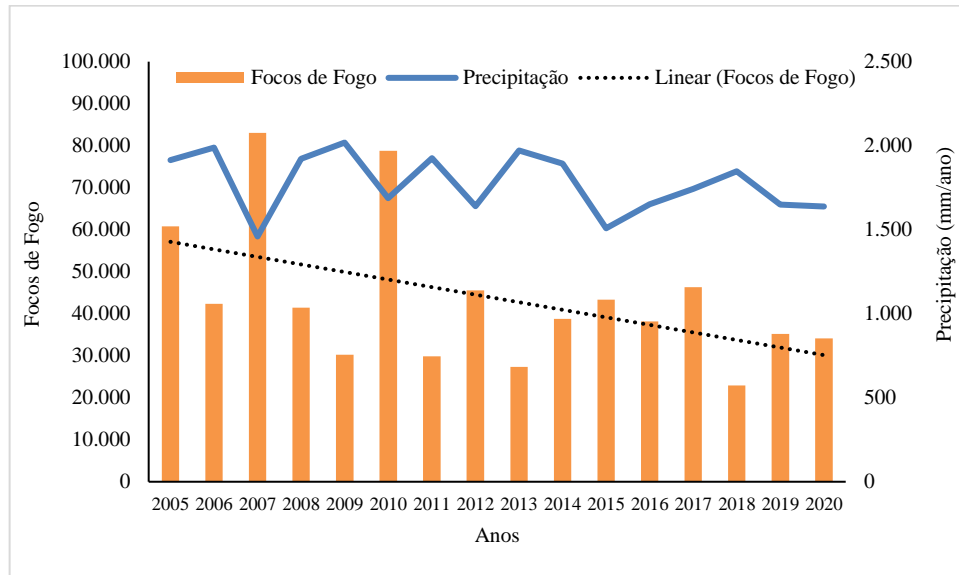
Os dados de uso e cobertura da terra foram adquiridos na plataforma MapBiomas (<https://mapbiomas.org/>), coleção de projetos 6 no recorte temporal equivalente aos anos de 2005 a 2020, por meio da plataforma de computação Google Earth Engine (*GEE*) (<https://earthengine.google.com/>). Para obtenção dos dados específicos da bacia hidrográfica, foi inserido no *GEE* o shape da delimitação da *RHTA* para realizar o download dos dados raster possibilitando assim a criação dos mapas. Os mapas produzidos pelo MapBiomas são originalmente classificados em seis grandes classes: floresta, formação natural não florestal, agricultura, área não vegetada, corpos d’água e não observados, que são divididos em subclasses (<https://mapbiomas.org/download>) (Da Silva, Banco, & Oliveira, 2022). Feito a reclassificação destes dados, utilizou-se somente as seis grandes classes de similaridade para a representação no mapa. É importante mencionar que a acurácia de mapeamento elaborado pelo mapbiomas, englobando todos os biomas, estatisticamente apresenta para o nível 1 (Acurácia Geral 90.8%; Discordância de alocação 7.5%; e Discordância de quantidade 1.7%), para o nível 2 (Acurácia Geral 87.4%; Discordância de alocação 9.3%; e Discordância de quantidade 3.3%) e para o nível 3 (Acurácia Geral 87.4%; Discordância de alocação 9.2%; e Discordância de quantidade 3.4%), que são excelentes índices de validação (MAPBIOMAS, 2022).

O uso do geoprocessamento, garante, com boa exatidão, a distribuição espacial e temporal do uso do solo, bem como, possíveis desmatamentos e queimadas, confrontando tais informações à capacidade de uso ou aptidão a certas atividades que a bacia venha desenvolver. Além disso, a aplicação de ferramentas, como a geoestatística e os Sistemas de Informação Geográfica (*SIG*), para geração de mapas, permitem que sejam feitas

análises com bom nível de precisão (Gomes, Pessoa, Santana, & da Silva, 2018). Assim, esta ferramenta será adotada neste estudo, para auxiliar na análise de uso e ocupação do solo da bacia estudada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A quantidade anual de *FC* para a *RHTA* variou entre 60.765 em 2005 e 34.169 em 2020, sendo a média de 51.416 focos com desvio padrão de 29.832, mantendo, portanto, uma tendência decrescente com o passar do tempo, conforme representação simplificada na Figura 3.



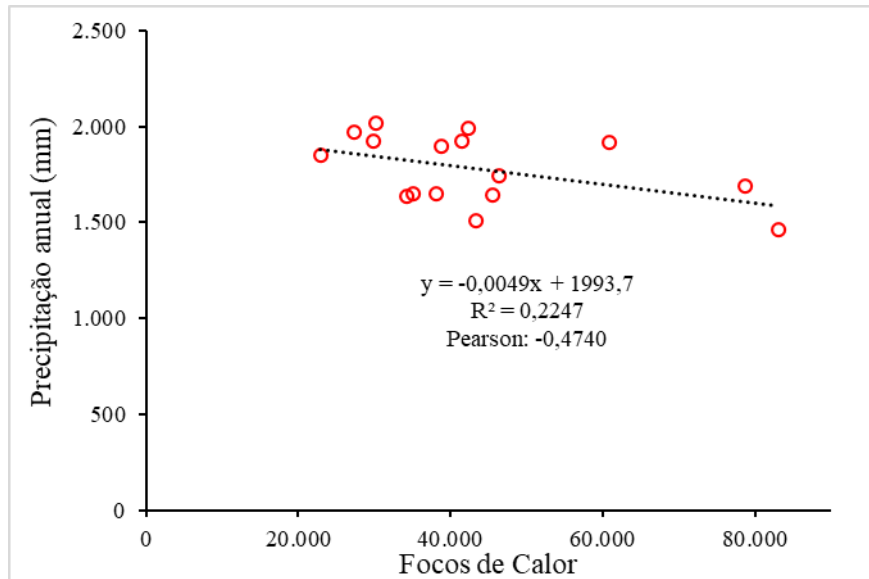
**Fig. 3** Relação entre números de focos de calor e precipitação média anual na RHTA

De modo geral, na Figura 3, em uma análise quantitativa, percebeu-se que houve oscilações na quantidade e concentração de *FC* ao longo dos anos na *RHTA*, sendo que os anos de 2005(60.769), 2007(83.022) e 2010(78.741) foram os que apresentaram os maiores índices, enquanto nos anos de 2013(27.342) e 2018(22.910) foram os menores. Ainda na Figura 3, percebe-se que os anos mais chuvosos foram 2005, 2006, 2008, 2011 e 2013. Com a exceção de 2005, que apresentou elevado número de precipitação e elevado número de focos de calor, estes anos também registraram uma baixa no número de focos de calor, o que comprova que estas variáveis são inversamente proporcionais. Além disso, nota-se que na série de precipitação média anual para os últimos 16 anos houve um decréscimo na precipitação com o passar dos anos.

Segundo Loureiro, Fernandes e Ishihara (2015), em seu estudo sobre variabilidade espacial e temporal da precipitação na *RHTA*, as variações pluviométricas anuais na bacia estão correlacionadas com as anomalias meteorológicas do Oceano Atlântico (Dipolo) e Pacífico (ENOS), resultando em um comportamento da precipitação bastante heterogêneo e marcado pela diminuição da amplitude pluviométrica, em anos de anomalia meteorológica intensa ocasionando um incremento de precipitação ao sul das sub-bacias *TOA* e *ARA* e diminuição da precipitação na sub-bacia *TOB*. O teste de Mann Kendall não possibilitou a verificação de que há uma tendência estatisticamente significativa no volume precipitado na *RHTA*, mas o estimador Sen's dá manifestações de queda na precipitação na sub-bacia *TOA* (-1,24 Km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) e Araguaia (*ARA*) (-1,13 Km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) e aumento da precipitação na sub-bacia do Tocantins Baixo (*TOB*) (0,53 Km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>) e *RHTA* (-1,5 Km<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>), ao longo de 30 anos essa variação foi equivalente a uma queda de 2,78% na precipitação dentro da *RHTA*.

Em vista do que foi citado acima, infere-se que a precipitação é variável no espaço e no tempo; assim, é importante reconhecer seus padrões de ocorrência para uma boa previsão do comportamento climático de uma região (Progênio & Blanco, 2020). Por esse motivo, foi feita correlação entre a densidade dos *FC* registrados e a média pluviométrica anual da *RHTA*, para uma melhor compreensão e visualização dos resultados obtidos, foi realizada uma análise gráfica do comportamento entre ambos utilizando o coeficiente de Pearson (Figura 4).

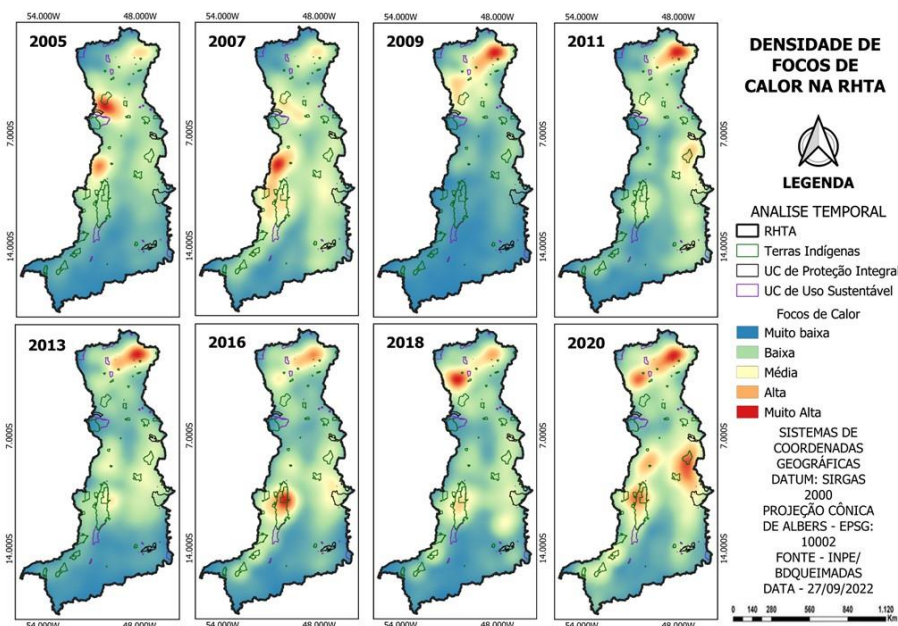


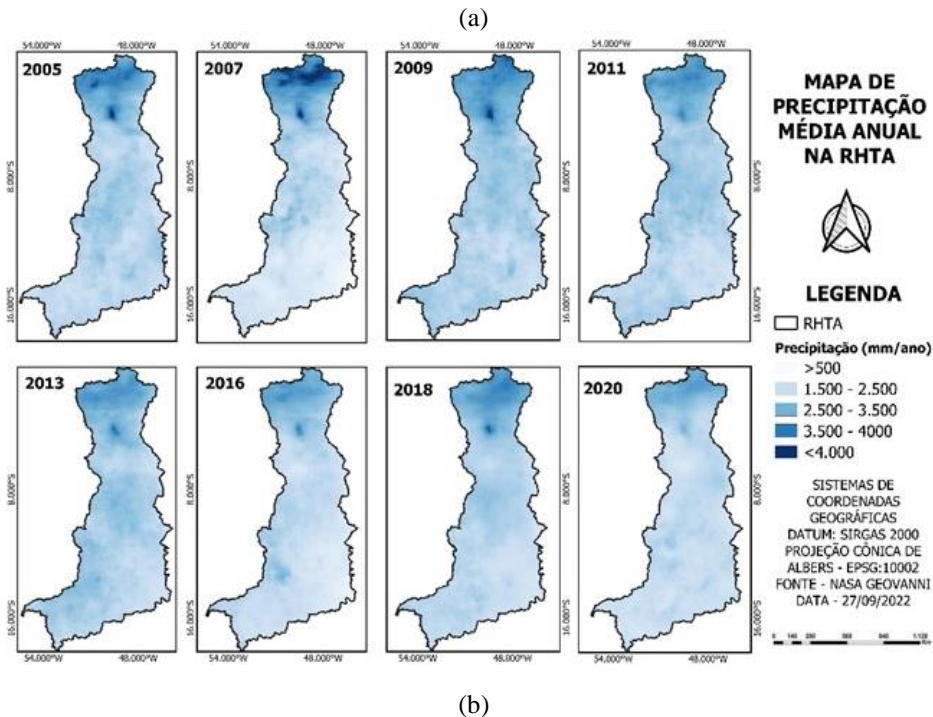


**Fig. 4** Aplicação do coeficiente de Pearson para os números de focos de calor e precipitação média anual na RHTA

A análise estatística resultante do coeficiente de correlação de Pearson representado na Figura 4, mostrou que o valor obtido para o coeficiente de Pearson foi  $-0,4740$ , este resultado indicou uma correlação moderada e negativa entre o número de focos de incêndio e a precipitação anual, logo, existe uma relação inversamente proporcional entre dados de chuva e foco de calor. Para uma melhor compreensão dos resultados, Obilor e Amadi (2018) classificam as correlações de Pearson em:  $r = 0,10$  até  $0,30$  (fraco);  $r = 0,40$  até  $0,60$  (moderado);  $r = 0,70$  até  $1$  (forte). O valor do coeficiente  $R^2$  que é definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação da variável independente (de Moraes Dias et al., 2020), indicou que 22% da variabilidade no número de focos de incêndio pode ser explicada pela variabilidade na precipitação média anual.

Mediante os dados de precipitação média obtidos e o resultado de Pearson, percebe-se uma baixa relação entre essa precipitação e a intensidade de focos de fogo, reforçando que, para esta área de estudo, nestes anos, apenas a quantidade de precipitação média anual, não é suficiente para justificar a densidade dos focos de fogo que ocorreram na região. Posto isso, outros fatores são estudados para justificar essa intensidade, como por exemplo, o uso e ocupação do solo. Diante dessas informações, é de suma importância conhecer a distribuição espacial e temporal dos FC's e dos índices de precipitação para o gerenciamento da bacia hidrográfica devido aos impactos que estes nela causam. Para uma melhor representação os dados foram espacializados a cada 2 anos (Figuras 5a e 5b).





**Fig. 5** Espacialização de dados entre 2005 até 2020; a) Densidade dos focos de calor; b) Precipitação média anual.

Em todos os anos analisados, a região do Nordeste e Leste da *RHTA* sempre apresentaram uma concentração acentuada de *FC* (Figura 5a). Além disso, em estudos realizados por Loureiro, Fernandes e Ishihara (2015), foram comprovados que os fenômenos meteorológicos ENOS (*El Niño* Oscilação Sul) e Dipolo Atlântico eram mais atuantes nesta da *RHTA*. De acordo com Silva, Portella e Giongo (2018), a quantidade de incêndios florestais está diretamente relacionada com as maiores recorrências de secas intensas ocasionadas por aumentos anômalos na temperatura da superfície do mar Pacífico, no caso do *El Niño*, e no Atlântico Norte Tropical, o caso do dipolo do Atlântico. Chen et al. (2017) estudaram seis episódios de *El Niño* e *La Niña* de 1997 a 2016 em todo o mundo usando imagens de satélite e descobriram que a precipitação e a redução da água do solo aumentaram os incêndios florestais em mais de 100% durante e após episódios de *El Niño* em comparação com episódios de *La Niña*. Além do aumento dos incêndios durante os episódios do *El Niño*, os autores relataram um aumento de  $CO_2$  atmosférico. Diante do exposto, ter conhecimento sobre os sistemas climáticos e dos fenômenos que influenciam nas precipitações pluviométricas servem como uma importante ferramenta para tentar minimizar os efeitos negativos causados por eventos extremos sobre regimes hidrológicos, e consequentemente na maior ou menor ocorrência de focos de calor (de Sousa, dos Santos, & de Souza Costa, 2022).

Segundo a Figura 5b, verificou-se que as precipitações anuais na *RHTA* variaram de >500mm até <4.000mm, sendo que estes valores aumentam na direção sul-norte da área de estudo, as menores médias pluviométricas (taxas abaixo de 1.400 mm) podem ser encontradas na região sudeste da sub-bacia *TOA*, já as maiores médias pluviométricas (acima de 2.700 mm) encontram-se ao norte da sub-bacia *TOB* (Loureiro, Fernandes, & Ishihara (2015). Segundo Gonçalves, Blanco, Santos e Oliveira (2018), este padrão está associado a sistemas atmosféricos em grande escala como o deslocamento norte-sul da zona de convergência intertropical (*ZCIT*). Na sub-bacia *TOB* a *ZCIT* está situada mais ao norte e combinada aos movimentos ascendentes localizados ao norte do equador geográfico, contribuem para que a sub-bacia *TOB* apresente uma maior intensidade pluviométrica e para a intensificação da diminuição de precipitação sobre o leste da Amazônia, Centro Oeste e Nordeste do Brasil. Marengo (2004), destaca que a menor intensidade de precipitação nas sub-bacias *TOA* e *ARA* em relação a *TOB* estão associados a posição mais a sul da Zona de Convergência do Oceano Atlântico Sul (*ZCAS*). É válido destacar que, de acordo com Gomes, Blanco e Pessoa. (2019), a sub-bacia *TOA* apresenta as maiores altitudes da *RHTA*. Desta forma, tem-se que uma das possíveis causas das baixas intensidades de precipitações, pode ter relação com as características geomorfológicas da região, uma vez que segundo Valente et al. (2013), em seu estudo na planície do Bananal situado no rio Araguaia, foi constatado que as unidades geomorfológicas aliadas às características de vegetação afetam diretamente a dinâmica pluviométrica local e regional.

A Figura 5b reafirma o exposto acima e dentre os anos analisados, percebe-se que em 2007 apesar de apresentar o menor índice pluviométrico (1.459mm) anual em toda a bacia, este foi o ano com maior intensidade de precipitação na região norte da bacia. Pode-se verificar também que a porção oeste da *RHTA*, a sub-bacia *ARA*

é a segunda em quantidades de precipitações em todos os anos devido ao compartilhamento de características do bioma Amazônia, ao norte a sub-bacia TOA apresentou as menores densidades pluviométricas e o ano de 2009 apresentou a maior pluviosidade (2.009mm) anual registrada.

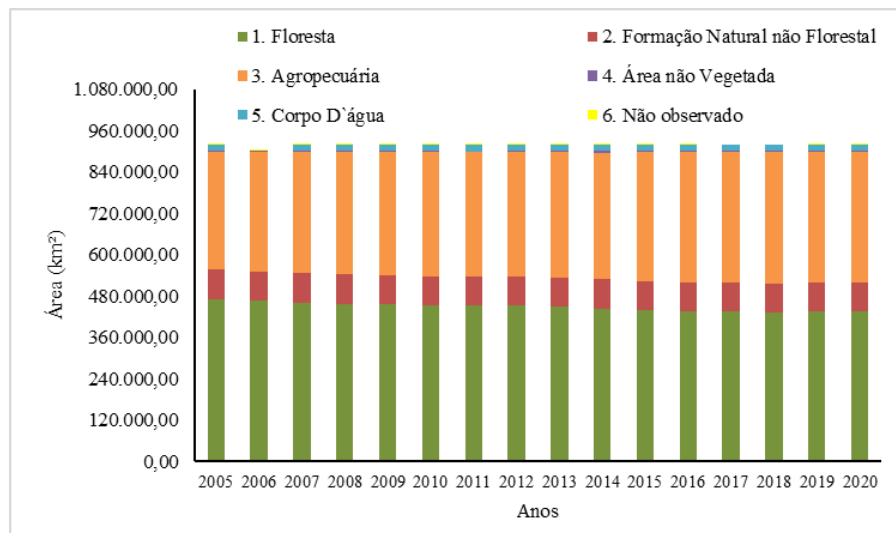
Entre 2000 e 2018, os biomas terrestres brasileiros perderam cerca de 500 mil km<sup>2</sup> de sua cobertura natural. Em números absolutos, nesse período, a maior perda foi do bioma Amazônia (269,8 mil km<sup>2</sup>), seguido pelo Cerrado (152,7 mil km<sup>2</sup>) (IBGE, 2020). O desmatamento na Amazônia brasileira está fortemente vinculado à mudança de uso da terra (Mello & Artaxo, 2017). A remoção da camada vegetal na Amazônia está fortemente relacionada com o aumento da incidência de queimadas na região (Aragão, Eoc, & Shimabukuro, 2010). Nesse sentido, a literatura também destaca que a intensificação da ocorrência de períodos de seca e mais quentes, como os eventos de El Niño também contribuiu para o aumento da ocorrência de focos de calor em conjunto com a antropização de áreas naturais (Davidson et al., 2012).

A Figura 5a apresenta a distribuição das densidades de FC's na RHTA. Inicialmente, ela mostra que o sudoeste do Tocantins (próximo à divisa com o Mato Grosso), ao longo de todos os anos de 2005 a 2007, apresentou uma concentração significativa de queimadas, chegando às densidades mais elevadas em 2020, vale ressaltar que o Estado se encontra integralmente dentro dos limites da bacia. Rocha e Nascimento (2022) afirmaram que, para o bioma Cerrado, entre 2002 e 2005, se observou a diminuição da ocorrência das menores quantidades de queimadas, dando espaço à maior ocorrência de classes com quantidades superiores a 861 FC nas microrregiões, sobretudo, no contexto dos estados de Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Bahia e Piauí junto ao Arco do Desmatamento.

Sobrinho e Júnior (2020) afirmam que na região norte brasileira, o Estado do Tocantins apresenta o maior índice de focos de calor, representando 89,47% dos registros. É importante mencionar que o estado do Tocantins não é banhado por nenhum dos oceanos que cercam a América do Sul, ainda assim, possui cursos hídricos como é o caso dos rios Tocantins e Araguaia utilizados para atividades primárias e geração de energia hidrelétrica, o que somados à sua localização centralizada garante vasta biodiversidade. Tal fato contribui para que esta região possua uma diversidade agrícola com estabelecimento de agrossistemas ligados aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes dos solos (Araújo, Manhaes, Azevedo, Milhomen, & Alves, 2018). Em uma avaliação voltada à análise espacial-temporal das queimadas em seis biomas brasileiros, Jesus, Rosa, Barreto e Fernandes (2020) alertaram 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. Esses eventos de seca severa e o aumento associado de incêndios florestais levantam preocupações sobre a perda de biodiversidade e a redução dos estoques de carbono na Amazônia (Condé et al., 2019).

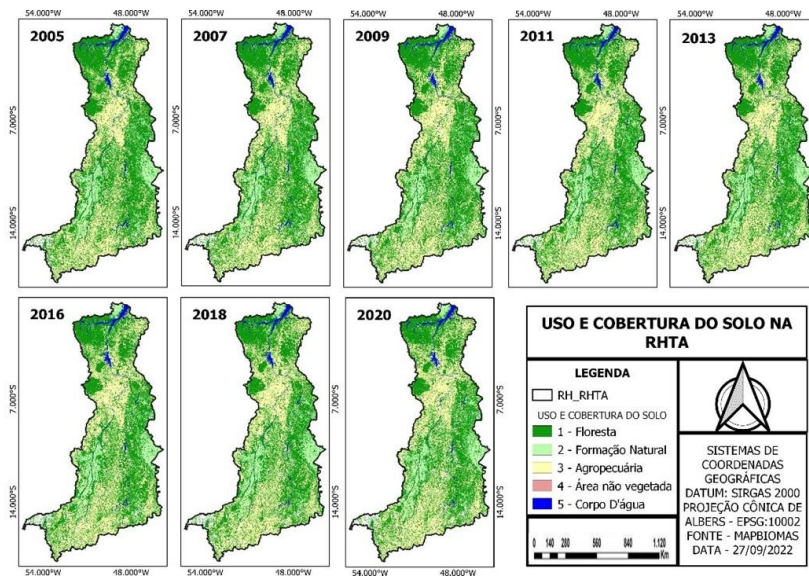
Os dados expostos pelo Projeto Mapbiomas (2020), também apontam o Cerrado como o bioma que teve maior proporção de área queimada (733.851 km<sup>2</sup>) entre o período de 1985 e 2020, seguido pela Amazônia (690.028 km<sup>2</sup>) – uma vez que juntos estes biomas representam 85% da área queimada no país. O Mapbiomas 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.

Ainda na Figura 5, é possível observar que em toda a RHTA apresentou-se densidade significativa de queimadas que variaram de baixa a muito elevada, principalmente no ano de 2016 e 2020. Toda essa variabilidade pode estar diretamente associada a mudança de uso e ocupação do solo e a variabilidade da precipitação. Neste sentido, a Figura 6 apresenta as transições entre as classes de uso e cobertura do solo da RHTA em km<sup>2</sup> para os anos de 2005 a 2020.



**Fig. 6** Uso e cobertura do solo da RHTA

Inferese a partir da Figura 6 que a área de floresta teve um decaimento de 7,71% (36.350,84 km<sup>2</sup>) entre os anos de 2005 a 2020. Nos mesmos anos, o setor da agropecuária cresceu 11,34% (38.576,93 km<sup>2</sup>), assim percebe-se que as áreas de florestas se converteram em áreas de agropecuária. Enquanto que a formação natural não florestal e os corpos d'água apresentaram as menores variações ao longo dos 16 anos analisados, em torno de 3,06% (2.609,78 km<sup>2</sup>) e 0,46% (83 km<sup>2</sup>), respectivamente. Já na classe das áreas não vegetadas ocorreram o maior aumento em proporção da RHTA, cerca de 14,41% (467,39 km<sup>2</sup>). A Figura 7 representa a forma espacializada os dados discutidos anteriormente.



**Fig. 7** Uso e cobertura do solo ao longo dos anos (2005-2020)

Verifica-se a partir da Figura 7 que as regiões com maior presença em todos os anos de áreas destinadas à agropecuária são as do sudeste paraense e norte do Tocantins, o mesmo ocorre com a região do estado Goiás, abrangendo parte de todas as mesorregiões, exceto o sul goiano. Entretanto, observa-se uma intensificação nos anos de 2016 a 2020, provocando uma elevada perda de biodiversidade, uma vez que, em 2019, as pastagens e plantios de *comodities* agrícolas como a soja já cobriam mais de 42% da bacia hidrográfica. A bacia Tocantins Araguaia é atualmente a área mais visada para a expansão de atividades agrícolas (Pelicice et al., 2021). Ainda na Figura 7, também é possível verificar a presença de Unidade de Conservação Federal de Proteção Integral e de Uso Sustentável ao longo do território da bacia. A criação destas áreas protegidas tem sido utilizada como estratégia global para garantir níveis satisfatórios de conservação da biodiversidade, sendo um processo em que pesam diversas variáveis, desde aquelas relacionadas a biologia da conservação quanto àquelas de oportunidades (Pádua; Chiaravalloti, 2012). No sudeste do Pará, apresenta-se os dois tipos de UC's, no Estado do Tocantins, tem-se a presença tanto da UC integral como a de uso sustentável, o mesmo ocorre com a divisa do Maranhão. No norte goiano também conta com os dois tipos de UC's.

Segundo Jesus et al. (2020), em seu estudo sobre incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil nos anos de 2003 a 2017, em 1.069 UC's, assim como no número de focos de queimada/incêndio, a Amazônia foi o bioma que apresentou a maior quantidade nas Unidades de Conservação, com um total de 159.931 registros em uma área de 6.700.000 km<sup>2</sup>, seguido do Cerrado com 95.673 em uma área de 2.045.000 km<sup>2</sup> e Caatinga com 25.864, valor este superior à Mata Atlântica que teve um total de 17.821, os autores complementam ainda que a Amazônia se destacou tendo o maior registro de fogo com 159.931 nas 286 UCs estudadas. Os elevados números de queimadas nestas áreas chamam a atenção, o que é ainda mais preocupante tendo em vista a baixa eficiência quanto ao combate aos incêndios florestais nas UCs do Brasil (de Araújo e Lima, 2018). Finalizando seu pensamento, o autor destaca que o maior número de focos de fogo ocorreu nas UC's do tipo de Uso Sustentável (US), que obtiveram uma maior quantidade de focos quando comparado às de Proteção Integral (PI), visto que, as UC's de uso sustentável preveem a possibilidade de utilização de recursos, desde que não comprometam os objetivos e a integridade ambiental (MMA, 2004). Com destaque para a região Norte do País para a maior área queimada, contrapondo o menor número de ocorrências.

No que se refere as áreas de Terras Indígenas, conforme dados disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) estas somam 1.170.674,1 km<sup>2</sup> e estão concentradas em grande parte na região Norte do país. Em relação à bacia, as áreas indígenas se concentram na Mesorregião Ocidental do Tocantins e Microrregião do



Rio Formoso, sendo fundamentais para enfrentar os problemas ambientais de perda de biodiversidade e mudanças climáticas globais, visto que o fogo é uma ameaça para a manutenção dessas áreas. Por fim, analisar a incidência dos focos de calor em áreas protegidas por meio de métodos eficientes, se configura como uma das formas de reduzir os focos de fogo em áreas de maiores riscos como assentamentos, as unidades de conservação e terras indígenas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os objetivos propostos nesse estudo e os resultados obtidos, pode-se concluir que os focos de calor são as principais ferramentas para o monitoramento de incêndios na *RHTA*. O método de Densidade de Kernel para a análise espacial e temporal das alterações foram satisfatórios para verificação dos focos de calor e revelou a interdependência entre focos de calor, uso e ocupação do solo, bem como a precipitação média anual.

Foi observado que a maior intensidade pluviométrica e dos focos ocorre nas sub-bacias *TOB* e *ARA*. Também foi observado uma variabilidade na densidade de focos de calor durante os anos de 2005-2020, o que pode estar relacionada com o uso e ocupação do solo, visto que a relação com a pluviosidade não foi alta o suficiente para justificar o número de focos de calor. A análise do uso e ocupação do solo da *RHTA*, mostrou que o maior índice de queimadas e desmatamentos se dá para os fins do agronegócio e para intensificar a economia da bacia. Verificou-se também a presença de áreas de proteção como as Unidades de Conservação de Uso Sustentável e Integral, bem como as Terras Indígenas, que atuam com um mecanismo de proteção e conservação na *RHTA*. A *UC* de Uso sustentável apresentou maior índice de focos de calor devido a sua flexibilização para os usos da terra, e no que se refere as terras indígenas, estas se concentram na Mesorregião Ocidental do Tocantins e Microrregião do Rio Formoso.

Em síntese, evidencia-se a importância das geotecnologias na investigação desses episódios de queimadas, de ferramentas que monitorem os focos de calor no território da bacia, visando o combate à essas práticas de forma irregular. Os resultados gerados neste trabalho poderão ser utilizados como ferramenta de monitoramento de focos de calor, e este servirão como subsídios para gestão dos recursos naturais e mitigação contra o futuro potencial perdas e danos associados ao impacto das mudanças climáticas da *RHTA*. Além disso, estas informações irão contribuir para o melhor entendimento das áreas que devem ser prioritárias na fiscalização de órgãos ambientais responsáveis pelo monitoramento de queimadas e desmatamento ilegais.

#### REFERÊNCIAS

- Abreu, F. D. A., & Souza, J. D. S. A. (2016). 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*, 23, 1-10. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.041813>.
- Ahmed, E., Al Janabi, F., Yang, W., Ali, A., Saddique, N., & Krebs, P. (2022). Comparison of flow simulations with sub-daily and daily GPM IMERG products over a transboundary Chenab River catchment. *Journal of Water and Climate Change*, 13(3), 1204-1224. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.420>.
- Ahmed, E., Al Janabi, F., Zhang, J., Yang, W., Saddique, N., & Krebs, P. (2020). Hydrologic assessment of TRMM and GPM-based precipitation products in transboundary river catchment (Chenab River, Pakistan). *Water*, 12(7), 1902. <https://doi.org/10.3390/w12071902>.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & de Moraes Gonçalves, J. L. (2013). Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and applied climatology*, 113(3), 407-427a. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0796-6>.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728.
- Aragão, L. E., & Shimabukuro, Y. E. (2010). The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. *Science*, 328(5983), 1275-1278. <https://doi.org/10.1126/science.1186925>.
- Araujo, P. H. H., Manhaes, C. M., Azevedo, G. D. S., Milhomem, N. A. E., & ALVES, T. S. (2018). Diversidade da macrofauna edáfica em diferentes cultivos agrícolas na região sudeste do Tocantins. *Nucleus*, 15(1), 399-406. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1990>.
- Barbosa, M. L. F., Delgado, R. C., Teodoro, P. E., Pereira, M. G., Correia, T. P., de Mendonça, B. A. F., & Ávila Rodrigues, R. D. (2019). Occurrence of fire foci under different land uses in the State of Amazonas during the 2005 drought. *Environment, Development and Sustainability*, 21(6), 2707-2720.

<https://doi.org/10.1007/s10668-018-0157-4>.

- Bispo, L. G., & Pimentel, G. A. (2017). Agricultura na amazônia legal e sua relação com o desmatamento: Uma análise a partir dos censos demográficos e agropecuários de 1996 e 2006. *Revista de Administração de Roraima-RARR*, 7(2), 244-267. <https://doi.org/10.18227/2237-8057rarr.v7i2.4519>.
- Chen, Y., Morton, D. C., Jin, Y., Collatz, G. J., Kasibhatla, P. S., van der Werf, G. R., ... & Randerson, J. T. (2013). Long-term trends and interannual variability of forest, savanna and agricultural fires in South America. *Carbon Management*, 4(6), 617-638. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.61>.
- Correia Filho, W. L. F., De Oliveira-Júnior, J. F., De Barros Santiago, D., De Bodas Terassi, P. M., Teodoro, P. E., De Gois, G., ... & Dos Santos, P. J. (2019). Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHELSA product. *Big Earth Data*, 3(4), 315-337. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1692298>.
- Cpetc - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Monitoramento de focos. Disponível em <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>.
- da Silva Cruz, J., Blanco, C. J. C., & de Oliveira Júnior, J. F. (2022). Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. *Science of The Total Environment*, 811, 152348. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348>.
- Davidson, E. A., de Araújo, A. C., Artaxo, P., Balch, J. K., Brown, I. F., C Bustamante, M. M., ... & Wofsy, S. C. (2012). The Amazon basin in transition. *Nature*, 481(7381), 321-328. <https://doi.org/10.1038/nature10717>.
- de Araújo Félix, G., Lima, G. S., Torres, F. T. P., das Graças Costa, A., & da Silva Júnior, M. R. (2018). Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. *Floresta*, 48(1), 113-122. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v48i1.53550>.
- de Moraes Dias, G. F., Gomes, D. J. C., de Oliveira Serrão, E. A., de Lima, A. M. M., de Miranda, S. B. D. A., Júnior, J. D. A. S., & de Souza, A. M. L. (2020). Associação entre os eventos de Enos e a distribuição espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio capim (MA-PA). *Revista Brasileira de Climatologia*, 26. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.59320>
- de Moraes Dias, G. F., Gomes, D. J. C., de Oliveira Serrão, E. A., de Lima, A. M. M., de Miranda, S. B. D. A., Júnior, J. D. A. S., & de Souza, A. M. L. (2020). Associação entre os eventos de Enos e a distribuição espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do rio capim (MA-PA). *Revista Brasileira de Climatologia*, 26. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.59320>.
- de Oliveira-Júnior, J. F., Alves, L. E. R., Lyra, G. B., de Gois, G., da Silva Junior, C. A., dos Santos, P. J., & Sobral, B. S. (2020). Fire foci dynamics and their relationship with socioenvironmental factors and meteorological systems in the state of Alagoas, Northeast Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(10), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08588-5>.
- de Sousa, E. S., dos Santos, V. C., & de Souza Costa, C. E. A. (2022). Influência de fenômenos climáticos sobre o regime de vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. *Holos Environment*, 22(1), 18-30. <https://doi.org/10.14295/holos.v22i1.12464>.
- Deng, J., Deng, Y., & Cheong, K. H. (2021). Combining conflicting evidence based on Pearson correlation coefficient and weighted graph. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(12), 7443-7460. <https://doi.org/10.1002/int.22593>.
- Duarte, S. C. (2018). ANÁLISE DE IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DA EXPANSÃO DO AGRONEGÓCIO NO TOCANTINS. *Revista Tocantinense de Geografia*, 7(12), 157-174.
- Earthdata. Giovanni. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso em: 25 out. 2022.
- Evangelista, J., Oliveira, C. M., & Frizzas, M. R. (2022). Open vegetation formations (grasslands and savannahs) support a higher diversity of Cetoniidae (Insecta: Coleoptera) than forest formations in the Brazilian Cerrado. *Biodiversity and Conservation*, 31(11), 2875-2892. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02467-w>.
- Falck, A. S., Maggioni, V., Tomasella, J., Vila, D. A., & Diniz, F. L. (2015). Propagation of satellite precipitation uncertainties through a distributed hydrologic model: A case study in the Tocantins–

- Araguaia basin in Brazil. *Journal of Hydrology*, 527, 943-957. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.042>.
- Freitas, W. K., Gois, G., Pereira Jr, E. R., Junior, J. O., Magalhães, L. M. S., Brasil, F. C., & Sobral, B. S. (2020). Influence of fire foci on forest cover in the Atlantic Forest in Rio de Janeiro, Brazil. *Ecological Indicators*, 115, 106340. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106340>.
- Gomes, E. P., Blanco, C. J. C., & Pessoa, F. C. L. (2018). Regionalization of precipitation with determination of homogeneous regions via fuzzy c-means. *RBRH*, 23. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820180079>.
- Gomes, E. P., Blanco, C. J. C., & Pessoa, F. C. L. (2019). Identification of homogeneous precipitation regions via Fuzzy c-means in the hydrographic region of Tocantins–Araguaia of Brazilian Amazonia. *Applied Water Science*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0884-6>.
- Gomes, E. P., Pessoa, F. C. L., Santana, L. R., & da Silva Cruz, J. (2018). Avaliação da Degradação Hídrica na Bacia Hidrográfica Tocantins Araguaia. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(3), 503-513. [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_3\\_503\\_513](http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_503_513).
- Gonçalves, M. F., Blanco, C. J. C., dos Santos, V. C., & dos Santos Oliveira, L. L. (2018). Homogeneous regions and rainfall probability models considering El Niño and La Niña in the State of Pará in the Amazon. *Acta Scientiarum. Technology*, 40, e37742-e37742. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.37742>.
- Gontijo, G. A. B., Borges, L. A. C., Laudares, S. S. D. A., & Barros, V. C. C. D. (2019). Análise do atendimento ao Código Florestal e a regularização ambiental por unidades de bacias hidrográficas. *Ciência Florestal*, 29, 1538-1550. <https://doi.org/10.5902/1980509818102>.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K. L., Joyce, R. J., Kidd, C., ... & Xie, P. (2020). Integrated multi-satellite retrievals for the global precipitation measurement (GPM) mission (IMERG). In *Satellite precipitation measurement* (pp. 343-353). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24568-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24568-9_19).
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário-2017. Rio de Janeiro. Disponível em <https://censoagro2017.ibge.gov.br/2012-agencia-de-noticias/noticias/28944-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018.html> / acesso em 12 de dez. 2022.
- Inpe – Instituto de Pesquisas Espaciais, & Bdqqueimadas. (2022) Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- Jesus, J. B. D., Rosa, C. N. D., Barreto, Í. D. D. C., & Fernandes, M. M. (2020). Analysis of the temporal, spatial and trend incidence of fire in biomes and conservation units of Brazil. *Ciência Florestal*, 30(1), 176-191.
- L. Resque, A. G., Coudel, E., Piketty, M. G., Cialdella, N., Sá, T., Piraux, M., ... & Le Page, C. (2019). Agrobiodiversity and public food procurement programs in Brazil: influence of local stakeholders in configuring green mediated markets. *Sustainability*, 11(5), 1425. <https://doi.org/10.3390/su11051425>.
- Loureiro, G. E., Fernandes, L. L., & Ishihara, J. H. (2015). Spatial and temporal variability of rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region. *Acta Scientiarum*. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i1.20778>.
- Lu, X., Wei, M., Tang, G., & Zhang, Y. (2018). Evaluation and correction of the TRMM 3B43V7 and GPM 3IMERGM satellite precipitation products by use of ground-based data over Xinjiang, China. *Environmental earth sciences*, 77(5), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7378-6>.
- M. Condé, T., Higuchi, N., & JN Lima, A. (2019). Illegal selective logging and forest fires in the northern Brazilian Amazon. *Forests*, 10(1), 61. <https://doi.org/10.3390/f10010061>.
- MapBiomás. Estatística de Acurácia. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/accuracy-statistics>. Acesso em: 08 dez. 2022.
- Marengo, J. A. (2004). Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and applied climatology*, 78(1), 79-96. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0045-8>.
- Marinho, A. A. R., de Gois, G., de Oliveira-Júnior, J. F., Correia Filho, W. L. F., de Barros Santiago, D., da Silva Junior, C. A., ... & Rogério, J. P. (2021). Temporal record and spatial distribution of fire foci in

- State of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 280, 111707. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111707>.
- Mello, N. G. R. D., & Artaxo, P. (2017). Evolução do plano de ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia legal. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros*, 108-129. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i66p108-129>.
- Menezes, E. S., Mucida, D. P., França, L. D. J., Aguilar, M. V. M., & Pereira, I. M. (2019). Temporal analysis of heat foci at Espinhaço Range Biosphere Reserve. *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 7(3), 256-261. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i3.6877>.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente (2004) Sistema nacional de unidades de conservação da natureza: Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto no 10 de 10 Prado ACC et al. Rodriguésia 70: e02032017. 2019 4.340, de 22 de agosto de 2002. 5a ed. MMA/SBF, Brasília. 56p.
- Obilor, E. I., & Amadi, E. C. (2018). Test for significance of Pearson's correlation coefficient. *International Journal of Innovative Mathematics, Statistics & Energy Policies*, 6(1), 11-23.
- Padua, C. V., & Chiaravalloti, R. M. (2012). Biodiversidade e áreas protegidas. *Áreas Protegidas/Fundo Vale*, 1.
- Pellicice, F. M., Agostinho, A. A., Akama, A., Andrade Filho, J. D., Azevedo-Santos, V. M., Barbosa, M. V. M., ... & Zuanon, J. (2021). Large-scale degradation of the Tocantins- Araguaia River basin. *Environmental Management*, 68(4), 445-452. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01513-7>.
- Pereira, J. A. V., & da Silva, J. B. (2016). Detecção de Focos de Calor no Estado da Paraíba: um estudo sobre as queimadas. *Revista Geográfica Acadêmica*, 10(1), 5-16.
- Progênio, M. F., & Blanco, C. J. (2020). Cumulative distribution function of daily rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region, Amazon, Brazil. *Natural Resource Modeling*, 33(2), e 12264. <https://doi.org/10.1111/nrm.12264>.
- Rolim, G. D. S., Camargo, M. B. P. D., Lania, D. G., & Moraes, J. F. L. D. (2007). Climatic classification of Köppen and Thornthwaite systems and their applicability in the determination of agroclimatic zoning for the state of São Paulo, Brazil. *Bragantia*, 66, 711-720. [doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022](https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022).
- Setzer, A., Morelli, F., & Souza, J. C. (2019). O Banco de Dados de Queimadas do INPE. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, (1), 239-239.
- Silva, C., Portella, A. C. F., & Giongo, M. (2020). Meta-análise de estudos sobre o efeito do fogo nos biomas florestais em relação aos microrganismos fúngicos. *Advances in Forestry Science*, 7(1), 931-938. <https://doi.org/10.34062/afs.v7i1.9339>.
- Smith, M., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2015). Geospatial analysis. A comprehensive guide to principles techniques and software tools. Edition. 2015. <http://www.spatialanalysisonline.com/>.
- Sobrinho, C. J. B., & Júnior, D. V. R. (2020). As queimadas e as queimadas no Tocantins: omunicípio de maior registro da série histórica de focos de calor ativos. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(1), 378-390. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0034>.
- Valente, C. R., Latrubesse, E. M., & Ferreira, L. G. (2013). Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 46, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.12.003>.



**ANEXO A – REVISTA (BIODIVERSITY AND CONSERVATION)**  
 (ISSN: 0960-3115)  
 Fator de impacto (2021): 4.296

Add the open access article to your reading list today

Read the article  
springeropen.com

---

[Search](#) [Authors & Editors](#) [Log in](#)

## Biodiversity and Conservation

[Editorial board](#)
[Aims & scope](#)
[Journal updates](#)

Founded in 1992, *Biodiversity and Conservation* is an international journal that publishes articles on all aspects of biological diversity, its conservation, and sustainable use. It is multidisciplinary and covers living organisms of all kinds in any habitat, focusing on studies using novel or little-used approaches, and ones from less studied biodiversity rich regions or habitats. It also features rapid assessment approaches, the estimation of species numbers and diversity (by traditional, molecular, or proxy indicator methods), habitat management, conservation policy and regulations, threats, biodiversity loss, extinctions, and the documenting of long-term changes, and ex-situ conservation — show all

Editor-in-Chief

David Hawksworth

Publishing model

Hybrid (Transformative Journal). [How to publish with us, including Open Access](#)

<p style="font-weight: bold; margin: 0;">4.296 (2021)</p> <p style="margin: 0;">Impact factor</p>	<p style="font-weight: bold; margin: 0;">35 days</p> <p style="margin: 0;">Submission to first decision (Median)</p>	<p style="font-weight: bold; margin: 0;">835,406 (2021)</p> <p style="margin: 0;">Downloads</p>
<p style="font-weight: bold; margin: 0;">4.416 (2021)</p> <p style="margin: 0;">Five year impact factor</p>		

[Contact the journal](#)

[Calls for papers](#)

Submit manuscript

Working on a manuscript?

Avoid the most common mistakes and prepare your manuscript for journal editors.

[Learn more](#) →

Latest issue

Volume 31

[Issue 13-14, December 2022](#)

[View all volumes and issues](#) >

Explore

[Online first articles](#)

[Volumes and issues](#)

[Collections](#)

Advertisement