



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES  
NATURAIS NA AMAZÔNIA**

**HELENA JOSEANE RAIOL SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIAL À AMEAÇA DE FOGO NA  
MICRORREGIÃO TOMÉ-AÇU**

**ORIENTADORA: PROFA. DRA. MILENA MARÍLIA NOGUEIRA DE ANDRADE**

**HELENA JOSEANE RAIOL SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIAL À AMEAÇA DE FOGO NA  
MICRORREGIÃO TOMÉ-AÇU**

Trabalho apresentado ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização de riscos e mitigação de desastres naturais na Amazônia

Linha de pesquisa: Ameaças Naturais no Ambiente Amazônico.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade

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)

---

S719a Souza, Helena Joseane Raiol.  
Avaliação da vulnerabilidade social à ameaça de  
fogo na microrregião Tomé-açu / Helena Joseane  
Raiol Souza. — 2021.  
xiii, 79 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Milena Marília  
Nogueira de Andrade Dissertação (Mestrado) -  
Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Geociências, Programa de Pós-  
Graduação em Gestão de Risco e Desastre na  
Amazônia, Belém, 2021.

1. Mapas de vulnerabilidade. 2. Criticidade. 3. Resiliência.  
I. Título.

CDD 307.72098115

---

**HELENA JOSEANE RAIOL SOUZA**

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIAL À AMEAÇA DE FOGO NA  
MICRORREGIÃO TOMÉ-AÇU**

Trabalho apresentado ao programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia, da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade.

Área de Concentração: Minimização de riscos e mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Vulnerabilidade das populações em áreas de risco.

Data de aprovação: 14/06/2021

Banca examinadora:

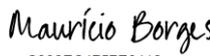


Profa. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade – Orientadora  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará-UFPA



Dr. Everaldo Nascimento de Almeida –Examinador Externo  
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará-UFPA

DocuSigned by:



C392EC4757E6412...

Prof. Dr. Maurício da Silva Borges –Examinador Interno  
Doutor em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará-UFPA



Profa. Dra. Suzana Araújo Romeiro – Examinadora Externa  
Doutora em Solos e Nutrição de Plantas  
Universidade de São Paulo – USP

Dedico

À querida avó e mãe, Maria da Conceição Souza (*in memoriam*) que, mesmo com pouca escolaridade, sabia que a educação poderia abrir as portas para mundos incríveis.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao maravilhoso Deus, pela dádiva da vida.

À minha família, por todo o incentivo e compreensão.

À minha orientadora, Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade, pela paciência e profissionalismo.

Aos professores e colegas do PPGGRD, que compartilharam tantas experiências e, em especial, à Lariana Têka, pelas sugestões,

Aos incansáveis amigos da Embrapa Amazônia Oriental que me auxiliaram nesta caminhada, especialmente, ao Dr. Marcelo Murad, pelas leituras prévias e ao meu chefe e amigo, Sebastião Júnior,

Aos amigos Ezequias Paes, Raimundo Luiz e Edwardo Gonçalves que sempre me deram o suporte necessário para a conclusão desta pesquisa.

E um Agradecimento especial à banca, que abdicou de algumas horas de seu tempo para me ouvir.

A todos vocês meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

O fogo possui várias origens, porém, em sua maioria, é causado por intervenção antrópica, excetuando-se, apenas, quando ocasionado por raios. A contínua intervenção do homem no meio ambiente associada às mudanças climáticas, vem causando prejuízos ambientais, econômicos e sociais em diversas localidades. O fogo, no Brasil, tem apresentado recentemente números expressivos, atingindo fortemente a floresta tropical úmida, onde vários municípios do Pará lideram o número de queimadas e incêndios florestais. Portanto, é necessário criar ou otimizar mecanismos de prevenção, redução ou mitigação dos riscos e preparar a população para o enfrentamento a possíveis desastres, capacitando lideranças para tomada de decisões, elevando sua criticidade e capacidades de resposta resultando na construção de comunidades e cidades resilientes. Esse trabalho visa avaliar a vulnerabilidade social da microrregião Tomé-açu e criar um mapa indicador de vulnerabilidade socioambiental frente à ameaça de fogo. As variáveis ambientais e sociais foram utilizadas para criação de mapas de vulnerabilidades. Foram usados Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o ARCMAP 10.5 para elaboração dos mapas e para análises estatísticas multivariadas (*K-Means clustering* e PCA), usou-se *software R*, versão 4.03. Concórdia do Pará apresentou parâmetros ambientais (áreas de pastagem superiores a de floresta, menor representação hídrica da MRTA) e sociodemográficos (maior densidade demográfica, menor área territorial, metade da população com baixos níveis de escolaridade), que convergiram para o resultado cartográfico de alta vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo. Como indicador de média vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fog, surge Acará, com variáveis ambientais favoráveis à redução dessa vulnerabilidade (maior área hidrográfica da MRTA, áreas de florestas prevalecendo sobre a de pastagem), entretanto, as variáveis sociais (piores taxas de escolaridade da MRTA, população rural dominante) contribuem negativamente para a construção desse indicador. Os demais municípios da MRTA (Moju, Tailândia e Tomé-açu) possuem parâmetros ambientais e sociais muito equivalentes e colaboraram para a construção do indicador de baixa vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo. Essa pesquisa reforçou a necessidade de elevar a escolaridade dessa população para o enfrentamento a possíveis desastres.

Palavras-chave: mapas de vulnerabilidade, criticidade, resiliência.

## ABSTRACT

The forest fire has various origins mostly caused by anthropic intervention excepting only when this action is caused by lighting. The continuous human activity in the environment associated with climatic changes is causing environmental, economical, and social damage in many places. The forest fire in Brazil has shown expressive statistic data, reaching strongly the humid tropical forest, and various cities of Pará state, which are leading the number of burnt fire and forest fire. In this way, it is necessary to establish and optimize prevention mechanisms, reduction, or risk mitigation. The man is still the main agent to environmental disturbs, and it is necessary to prepare the population to deal with possible disasters, forming leadership to take decisions, increasing the community capacity to survive in adverse conditions. So, this research aims to evaluate the social vulnerability of the Tomé-açu microregion and obtain a social-environmental map vulnerability indicator due to burnt fire and its derivates. The methodology includes social and environmental variables used to obtain vulnerability indicators in these conditions. There were used Geographic Information System (SIG) and the ARCMAP 10.5 for map elaboration and multivariate statistical analysis (K-Means clustering and PCA), and the R software version 4.0.3. There were verified in Concórdia do Pará environmental parameters (pasture areas larger than forest, low hydric representation of MRTA) and social demography (high demographic density of MRTA, lower territorial area of MRTA), that implies an indicator with high social-environmental vulnerability to fire threat, and medium social-environmental variables favorable to the reduction of this phenomenon (larger hydrographic area of MRTA, forest areas larger than pasture). Although the social variables (lowest schooling rates of MRTA), dominant rural population) contribute negatively to the indicator establishment. The other counties of MRTA (Moju, Tailândia, and Tomé-açu) showed environmental and social parameters equivalent and contributed to the low social vulnerability and environmental indicator to the fire threat. Finally, this research showed the importance to increase population schooling to deal with these possible disasters

Key Words Vulnerabilty maps, resilience, criticality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da Microrregião Tomé-Açu .....	28
Figura 2 - Fluxograma da obtenção dos escores e das classificações de vulnerabilidade para as dimensões demográfica, social, ambiental e socioambiental. ....	32
Quadro 1 - Atribuição de cores para as classificações das vulnerabilidades demográfica, social e ambiental. ....	39
Quadro 2 - Atribuição de cores para as classificações da vulnerabilidade socioambiental. ....	40
Figura 3 - Concentração de pessoas nas zonas rurais dos municípios da MRTA. ....	43
Figura 4 – Classificação de vulnerabilidade demográfica para a MRTA. ....	44
Figura 5 - Classificação de vulnerabilidade Social para a MRTA. ....	47
Figura 6 - Densidade de focos de calor distribuídos temporal (2010 a 2014) espacialmente na MRTA. ....	52
Figura 7 - Densidade de focos de calor distribuídos temporal (2015 a 2019) espacialmente na MRTA.....	53
Figura 8- Paisagem da MRTA relacionada ao uso do Solo observada em 2010 (A); Alterações percebidas no Solo da MRTA em 2019 (B).....	54
Figura 9 – Classificação de vulnerabilidade ambiental para a MRTA. ....	57
Figura 10 - Mapa indicador de vulnerabilidade socioambiental da MRTA.....	61
Gráfico 1- Análise entre o número de habitantes das zonas rural e urbana dos municípios da MRTA em 2010.....	41
Gráfico 2 - Análise de Componentes Principais para variáveis sociodemográficas da MRTA. (Dens. = Densidade demográfica; Pop. Rural = População Rural; Esc. 1 = Escolaridade 1; Esc. 2 = Escolaridade 2; Esc 3 = Escolaridade 3).....	48
Gráfico 3 - Distribuição temporal do número de focos de calor na MRTA no período .....	51
Gráfico 4 - Análise de Componentes Principais para variáveis ambientais da MRTA. (Prec. = Precipitação pluviométrica; Área = Área urbana; F. calor = Focos de calor).....	58
Gráfico 5 - Evolução do rebanho bovino na MRTA entre 2010 e 2019.....	66
Gráfico 6 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Acará.....	68
Gráfico 7 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Concórdia do Pará. ....	70
Gráfico 8 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Moju.....	72

Gráfico 9 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Tailândia. ....	74
Gráfico 10 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Tomé-açu. ....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aumento da densidade demográfica e populacional dos municípios da MRTA. ...	42
Tabela 2 - Taxa do grupo de vulneráveis (crianças e idosos) da população da MRTA. ....	45
Tabela 3 - Taxas dos níveis de escolaridade da população da MRTA. ....	46
Tabela 4 - Médias anuais acumuladas de precipitação pluviométrica dos municípios da MRTA .....	49
Tabela 5 - Dados percentuais exibindo a evolução do uso do solo e hidrografia na MRTA (2010 e 2019).....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSV	Comma Separated Value
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMATER	Empresa de de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Pará
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ENVI	Environment for Visualizing Images
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Changes
MRTA	Microrregião Tomé-açu
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PCA	Análise do Componente Principal
SAFs	Sistemas Agroflorestais
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SIG	Sistema de Informação Geográfica
USGS	United States Geological Survey
TSM	Temperatura na Superfície do Mar
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Geral.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Específicos .....</b>	<b>19</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Definições sobre vulnerabilidade.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. O fogo e seus derivados.....</b>	<b>22</b>
<b>4.MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1. Área de estudo.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2. Vegetação .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3. Origem étnica e povoamento da MRTA .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4. Caracterização da População da MRTA e suas atividades econômicas. ..</b>	<b>30</b>
<b>4.5. Indicador de vulnerabilidade socioambiental.....</b>	<b>32</b>
4.5.1. Obtenção da Dimensão demográfica.....	33
4.5.1.1. <i>Taxa da população da área rural</i> .....	33
4.5.1.2. <i>Densidade demográfica</i> .....	33
4.5.2. Obtenção da dimensão social.....	34
4.5.2.1. <i>Taxa por faixa etária (crianças e idosos)</i> .....	34
4.5.2.2. <i>Taxa da população por nível de escolaridade</i> .....	34
4.5.3. Obtenção da dimensão ambiental.....	35
4.5.3.1. <i>Precipitação pluviométrica</i> .....	35
4.5.3.2. <i>Número de focos de calor</i> .....	36
4.5.3.3. <i>Mapas de focos de calor</i> .....	36
4.5.3.4. <i>Uso do solo</i> .....	36
<b>4.6. Cálculos dos escores de vulnerabilidade .....</b>	<b>38</b>
4.6.1. Obtenção dos Indicadores usando Análise multivariada <i>K-Means clustering</i> .....	38
<b>4.7. Análise do Componente Principal .....</b>	<b>39</b>
<b>4.8. Classificação de vulnerabilidade demográfica, social, ambiental e socioambiental.....</b>	<b>39</b>
<b>4.9. Classificação de vulnerabilidade socioambiental.....</b>	<b>40</b>

<b>5.RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1. Vulnerabilidade sociodemográfica .....</b>	<b>41</b>
5.1.1. Dimensão demográfica .....	41
5.1.1.1. <i>Análise da variável População rural e urbana.....</i>	41
5.1.1.2. <i>Análise da variável Densidade demográfica .....</i>	41
5.1.2. Dimensão social .....	44
5.1.2.1. <i>Análise da variável: grupo de vulneráveis (Crianças e Idosos).....</i>	44
5.1.2.2. <i>Análise da variável graus de escolaridade .....</i>	45
5.1.3. <i>Análise Sociodemográfica da MRTA.....</i>	47
5.1.4. Dimensão ambiental .....	48
5.1.4.1. <i>Análise da variável Precipitação Pluviométrica .....</i>	48
5.1.4.2. <i>Análise do número de Focos de calor e Densidade de Kernel .....</i>	49
5.1.4.3. <i>Análise Comparativa do uso do solo.....</i>	54
5.1.5. <i>Análise do Componente Principal (PCA) – dimensão Ambiental .....</i>	57
<b>5.2. Construção dos Mapas.....</b>	<b>58</b>
5.2.1. Vulnerabilidade socioambiental.....	58
<b>6.DISSCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>6.1. Panorama geral da microrregião Tomé-açu .....</b>	<b>62</b>
6.1.1. Prognóstico para o município de Acará.....	66
6.1.2. Prognóstico para o município de Concórdia do Pará .....	69
6.1.3. Prognóstico para o município de Moju.....	71
6.1.4. Prognóstico para o município de Tailândia .....	73
6.1.5. Prognóstico para o município de Tomé-açu .....	75
<b>7.CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE A: MAPA INDICADOR DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DA MICRORREGIÃO TOMÉ-AÇU A AMEAÇA DE FOGO.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE B: CLASSIFICAÇÃO DE VULNERABILIDADES DEMOGRÁFICA, SOCIAL E AMBIENTAL QUE ORIGINARAM O MAPA INDICADOR DE VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL PARA A MRTA. ....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O fogo faz parte dos quatro elementos essenciais do universo (água, fogo, terra e ar) e, muitas vezes, encontra-se associado a destruição e catástrofes (FERREIRA-LEITE et al., 2013), no entanto, foi uma das primeiras grandes descobertas revolucionárias da humanidade a alguns milhões de anos atrás, mais precisamente, no paleolítico inferior (HIRST, 2019; MUSITANO, 2019).

Pesquisas revelam que as primeiras evidências do uso do fogo por humanos foram encontradas em sítios de homínídeos, no Quênia. Estes utilizavam o fogo para cozinhar, produzir luz e calor, prevenir-se contra animais predadores, limpar florestas para plantar, produzir objetos de cerâmicas por meio de argila queimada, produzir ferramentas de pedra e, a partir da descoberta, o homem rumou no caminho da civilização (HIRST, 2019).

Sustentando que existem efeitos benéficos produzidos pelo fogo surgem as “queimadas controladas”, usadas para limpeza de áreas que, geralmente, ocorre após desmatamento (COSTA, 2011; SEMAS, 2010). Ao sair do controle, essas queimadas transformam-se em incêndios florestais causando enormes prejuízos à sociedade e aos ecossistemas (SANTOS; SILVA; GUIMARÃES, 2020).

As causas que originam esse tipo de evento são classificadas em estruturais, compostos por fatores ambientais e sociais, e determinantes, fatores naturais e antrópicos. Os parâmetros para avaliar o comportamento desses incêndios consideram as características da vegetação (combustível) e do relevo associados a elementos e fatores climáticos, tais como radiação solar, umidade do ar, temperatura, precipitação, altitude, latitude, massas de ar. (IBAMA, 2010).

Nos últimos anos, a mídia registrou incêndios florestais de grande magnitude, consequência de estiagens severas, deixando muitas vítimas fatais e danos irreversíveis à biodiversidade local. Destes, destacam-se os ocorridos na Grécia em 2018, Portugal (2003 e 2017), Victoria (Austrália), em 2009, Roraima (1997-1998), Paragominas-Pará (1998) e tantos outros não menos intensos ou severos (COCHRANE, 2000; ANDERSON et al., 2019; AFP, 2018).

Segundo dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), durante o período de 2010 a 2019, no Brasil, a área total queimada foi de 2.907.145 Km<sup>2</sup>, onde o Bioma Amazônia corresponde a aproximadamente 23% dessa área.

A quase totalidade das ocorrências de fogo descontrolado (queimadas e incêndios florestais) está associada a causas estruturais e ou determinantes, entretanto, não se pode desconsiderar a existência de fenômenos atmosféricos-oceânicos como *El Niño* Oscilação Sul

(ENOS) que afeta o globo terrestre como um todo e, em particular, causam o aparecimento de grandes períodos de seca severa na região Norte do Brasil, causando sérios transtornos socioeconômicos (ARAGÃO, 1998; SOUSA et al., 2015).

Acerca de região amazônica, percebe-se que o fogo sempre foi utilizado tradicionalmente para diversos fins, pois famílias de pequenos agricultores, extrativistas, ribeirinhos, indígenas, pescadores ainda o utilizam em grande escala, por ser o fogo uma ferramenta importante e de baixo custo na execução de algumas atividades, como renovação do solo, formação de pastos, extrativismo, dentre outras (SAUBER, 2005).

Somando-se aos fatores acima elencados, existem ainda, na Amazônia, muitas políticas atuais apoiando projetos de infraestrutura que tornam áreas longínquas de floresta acessíveis à ocupação, e incentivam os tipos extensivos de uso da terra. Tais projetos, abrangem a construção de hidrovias, estradas, redes de energia elétrica e a concessão de áreas para mineração, e devem ser avaliados por seus impactos na demografia e nas práticas ambientais de uso da terra da região, por isso, faz-se extremamente necessário, programas que protejam efetivamente extensas áreas de floresta nas regiões das fronteiras de ocupação agrícola em expansão (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999).

Ainda sobre a Amazônia, especificamente, a intensificação de queimadas e desmatamento se sobrepõem às oscilações climáticas, lembrando como exemplo, a seca ocorrida no oeste da Amazônia em 2005, que pode ter sido consequência de alterações do padrão de uso da terra no Brasil e em países vizinhos, e não de processos climáticos globais, que seria o pensamento mais óbvio a ser construído (MARENGO, 2006).

Nepstad; Moreira e Alencar (1999) relataram que existe a hipótese de que o risco seja inversamente relacionado ao nível de investimento feito nas propriedades rurais, ou seja, os investimentos em cercas, edificações, reformas de pastagens, reflorestamento, sistemas agroflorestais e outros tipos de culturas perenes funcionam como um desestímulo ao uso do fogo e um incentivo para investimentos em prevenção e controle.

Entretanto, a intervenção do homem no processo de queima, precipitações reduzidas somadas à elevação da temperatura de 2° a 8°C até o fim do século, estão e estarão contribuindo com o aumento da inflamabilidade do bioma amazônico, o que poderá gerar um possível processo de “savanização” da floresta (FONSECA-MORELLO et al., 2017).

Em florestas tropicais, após sucessivas queimas em que árvores de grande porte são consumidas, originam-se vegetação com espécies menos resistentes ao fogo, atenuando, ainda mais, a possibilidade da ocorrência do processo (CARVALHO, 2016; SALES et al., 2019). Por

outro lado, em alguns biomas, a ausência do uso do fogo projeta efeitos negativos em determinadas espécies vegetais (ABREU et al., 2017).

A relevância do fogo para diversas atividades conduz ao surgimento perene das queimadas, gerando a “Economia do Fogo”, com três fundamentos básicos: alta eficácia do fogo (COCHRANE, 2010), baixa probabilidade de incêndios em florestas tropicais úmidas (VASCONCELOS et al., 2013), baixo percentual de aglomeração populacional com consequente baixa densidade infraestrutural (NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999), originando as queimadas agrícolas (FONSECA-MORELLO et al., 2017).

Embora já existam sistemas de vigilância das florestas com emprego de imagens de satélites e órgãos como IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e outros em âmbitos federal, estadual e municipal, atuando no monitoramento e prevenção de focos de incêndios, estes eventos ainda são um sério problema para o país (ANDERSON et al., 2019; BACANI, 2016).

Políticas públicas voltadas para a questão da prevenção e controle de incêndios florestais ainda estão muito aquém do ideal, ainda que estudos recentes apontem para a questão do aumento de incidência de desastres associados a incêndios florestais no Brasil (ANDERSON et al., 2019). Conhecer os fatores que desencadeiam os desmatamentos e as queimadas é necessário para direcionar Políticas Públicas nas tomadas de decisão (FONSECA-MORELLO et al., 2017).

Soares (2000) afirma que para reduzir a ocorrência dos incêndios, seria extremamente relevante adotar uma silvicultura preventiva, ou seja, estabelecer técnicas de proteção contra o fogo desde a implantação dos povoamentos, pois estes são potencialmente mais suscetíveis aos incêndios.

Após cem anos de colonização do Nordeste paraense, ainda é muito frequente a agricultura de derruba-e-queima (REBELLO; HOMMA, 2017). Esta região, sofreu imensa antropização em seus sistemas e subsistemas produtivos havendo uma extensa mudança de uso e cobertura da terra. Áreas antes cobertas por florestas com rica biodiversidade, foram substituídas por pastagens degradadas e vegetação em diferentes estágios sucessionais, resultado de atividades madeireiras, ampliação de produção agropecuária, agricultura local sem incentivo, caça predatória e uso indiscriminado de fogo ao preparar a terra (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017).

Estudos de análise multitemporal de focos de queimada desenvolvidos no estado do Pará apontam que as mesorregiões Sudeste, Sudoeste e Nordeste paraense apresentaram o maior

número de focos de calor, uma vez que estas regiões possuem atividades econômicas voltadas para a pecuária e agricultura em larga escala, com limpeza das áreas e consequente eliminação de resto de culturas, o que gera, algumas vezes, queimadas ilegais ultrapassando as fronteiras das propriedades rurais (SANTOS; SILVA; GUIMARÃES, 2020).

A mesorregião Nordeste paraense é um das seis que compõem o Estado do Pará, sendo as outras o Baixo Amazonas, Marajó, Região Metropolitana de Belém, Sudeste Paraense e Sudoeste Paraense. Essas mesorregiões foram divididas considerando-se as características socioculturais e ecológicas próprias, evidenciando-se a Nordeste paraense por ser mais antiga em termos de colonização na Amazônia, possuir 49 municípios, e 24,13% dos habitantes do estado (IBGE, 2010).

Esta mesorregião é composta pelas microrregiões Bragantina, Cametá, Guamá, Salgado e Tomé-açu, esta última apresentando baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e muitas famílias beneficiadas por programas do governo Federal que, associado ao grande potencial edafoclimático da região, levou o governo do Estado a criar políticas de incentivo a grupos nacionais e internacionais para implantação da dendeicultura nesta microrregião (NAHUM; MALCHER, 2012).

Ao se implantarem as monoculturas de dendê (*Elaeis guineenses* Jacq.) parte dessa modificação na vegetação usa o fogo no processo ocasionando, ou não, os incêndios florestais, expondo uma maior quantidade de pessoas por ano, tornando-as socioambientalmente vulneráveis aos seus efeitos, influenciando a saúde e qualidade de vida dessa população (GONÇALVES et al., 2014), considerando que a vulnerabilidade revela as condições sugeridas por processos sociais, econômicos, físicos e ambientais que elevam a susceptibilidade de uma população ou comunidades aos impactos de desastres (ISDR, 2004).

De forma a prevenir o surgimento de queimadas ou incêndios florestais é realizado, no estado do Pará, o monitoramento hidrometeorológico, através da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), que emite os resultados em formato de boletins, com informações de focos de calor observados nos municípios, bem como analisam as condições meteorológicas favoráveis, ou não, ao surgimento de incêndios florestais, com risco de suscetibilidade ao fogo e previsão de incêndios florestais baseado nas condições meteorológicas (SEMAS, 2010)

Assim, a relação entre áreas com alta probabilidade de incêndios florestais e alta vulnerabilidade social devem ser identificadas para uma melhor gestão do risco (WIGTIL et al., 2016) onde, entre tantos resultados negativos, já é possível identificar na Amazônia, os efeitos na saúde em grupos vulneráveis de crianças e idosos (GONÇALVES; CASTRO;

HACON, 2012), observando-se que a relação entre material particulado de queimadas e aumento de doenças respiratórias nestes grupos alcançam uma correlação positiva (CASTRO; GONÇALVES; HACON, 2009; MASCARENHAS et al., 2008). Desse modo essa dissertação trabalha considerando a seguinte pergunta: Quais são os fatores de vulnerabilidade socioambiental da microrregião de Tomé-açu à ameaça de fogo?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a vulnerabilidade socioambiental da microrregião de Tomé-açu frente aos perigos derivados do fogo e incêndios florestais.

### **2.2 Específicos**

- a) Analisar a ameaça de fogo da microrregião de Tome-açu;
- b) Analisar a vulnerabilidade socioambiental da microrregião de Tome-açu a ameaça de fogo;
- c) Gerar mapas de vulnerabilidade demográfica, social e ambiental para a microrregião Tomé-açu;
- d) Gerar um mapa indicador de vulnerabilidade socioambiental para a microrregião Tomé-açu.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Definições sobre Vulnerabilidade

Liverman (1994), defendia que a vulnerabilidade sempre seria definida considerando um perigo ou um conjunto deles, em determinada situação social e geográfica. Afirmava também que antes de se iniciar um exame mais detalhado da situação seria necessário fazer alguns questionamentos indispensáveis: “que local está/é vulnerável?”, quem está/ é vulnerável?” e “vulnerável a que?”.

Contemplando a afirmação acima, a ciência da vulnerabilidade admite que um dos princípios fundamentais dessa ciência é o conhecimento geoespacial e a investigação com base nos locais, uma vez que, todos os desastres e a forma com que as respostas imediatas se apresentam são locais (CUTTER, 2011).

Na tentativa de responder aos questionamentos feitos, Mendes et al. (2011) afirmam que a vulnerabilidade afeta, sobremaneira, as pessoas, portanto, a vulnerabilidade social é composta pela criticidade, que se refere às características individuais e comportamentais que podem, ou não, contribuir para uma quebra do sistema, e pela capacidade de suporte, relacionada a toda infraestrutura oferecida pelo local de modo a permitir que a comunidade reaja em caso de ocorrência de desastres.

Autores como Wisner et al. (2004); Eriksen e Gill (2010) e Whittaker, Handmer e Mercer (2012), afirmam que a vulnerabilidade aos perigos é socialmente construída e influenciada por fatores históricos, econômicos, ambientais, políticos, culturais e demográficos (origem das desigualdades), aliados a pressões dinâmicas suscitadas de processos sociais (conflitos sociais, explosão no crescimento urbano) e exposição desigual ao risco, em que pessoas são submetidas a condições de vida pouco seguras, na maioria das vezes.

Assim, ao se estender estudos de vulnerabilidade focado em um grupo de indivíduos, torna-se mais fácil o entendimento dos fatores que a influenciam ao mesmo tempo que servem para se analisar melhor suas causas (WHITTAKER; HANDMER; MERCER, 2012).

Em locais onde existe a susceptibilidade de ocorrências de fenômenos naturais, especificamente meteorológicos e geológicos, a vulnerabilidade ambiental tem como finalidade principal avaliar os fenômenos naturais, potenciais causadores de desastres sociais e atentar para a relação existente entre os problemas ambientais de procedência antrópica (SANTOS, 2015).

No conceito de vulnerabilidade proposto por Blaikie et al. (1994), os autores afirmam que a vulnerabilidade se associa diretamente à capacidade de um indivíduo ou grupos de

indivíduos em resistir a efeitos prejudiciais advindos de riscos naturais, como mudança climática e eventos extremos, bem como sua capacidade de resposta e de recuperação, o que também afirmam Wisner et al. (2004) e Hufschmidt, Crozier e Glade (2005), sobre a vulnerabilidade social.

É importante salientar que processos sociais ligados à fragilidade da proteção social e à precariedade das condições de vida (educação, saneamento, renda, saúde, etc.), aliados aos impactos resultantes da degradação do ambiente, tornam mais vulneráveis certos grupos populacionais (mulheres, idosos e crianças) e determinadas áreas (FREITAS et al., 2012).

A consequência dessa combinação de processos sociais coexistindo em um espaço ambientalmente vulnerável é denominada de “vulnerabilidade socioambiental” (DESCHAMPS, 2004; ZANELLA et al., 2013).

Assim, os grupos economicamente mais desfavorecidos são também os mais vulneráveis em termos sociais e ambientais, uma vez que vivem em situação de profunda precariedade socioambiental, ocasionando fraca capacidade de resposta e adaptativa dessas populações (CARVALHO; SOUZA-SANTOS, 2005). E para a promoção do desenvolvimento sustentável e redução de vulnerabilidades é necessário elevar a capacidade adaptativa de um sistema (MAROUN, 2007).

Nesse sentido, faz-se necessário enfatizar que o termo resiliência está intimamente relacionado à capacidade adaptativa de um sistema (um indivíduo, uma cidade, uma vegetação, uma economia) com habilidades para enfrentar mudanças sociais, ambientais, políticas, econômicas e dar continuidade ao seu desenvolvimento (THE STOCKHOLM RESILIENCE CENTRE, 2011).

Esses processos evidenciam a divisão e estratificação socioespaciais que, além de dificultar o acesso do grupo marginalizado a bens e infraestrutura, aprisionam estes mesmos grupos a zonas de maior risco de eventos catastróficos, como os incêndios florestais (IWAMA et al., 2016).

Estes eventos estariam relacionados ao grau de perda associado a um conjunto de elementos, como pessoas, bens, estruturas etc. A partir dessa observação, insere-se não só os efeitos do incêndio, como também o valor dos elementos a ele expostos (TEDIM; CARVALHO, 2013).

Todos os aspectos observados (sociais, ambientais e econômicos) têm origem nas alterações climáticas que irão influenciar diretamente na vida das populações, uma vez que estas serão atingidas por diferentes impactos (IPCC, 2012), ressaltando-se que “pessoas

empobrecidas e pessoas sem acesso a recursos são mais suscetíveis a perdas e danos causados por riscos naturais e têm mais dificuldade em se recuperar” (WISNER, 2016).

Nesse contexto, a Amazônia é uma região brasileira que influencia diversas variáveis climáticas (temperatura, umidade, radiação) (MARENGO, 2006), ocasionando o surgimento de grandes períodos de seca, estiagem e precipitação, assim, faz-se necessário desenvolver mais estudos acerca de vulnerabilidade que subsidiem políticas públicas de forma a proteger cidadãos e ambientes de ameaças naturais, biológicas, antrópicas ou tecnológicas. (WISNER, 2016).

A vulnerabilidade de forma muito sucinta, nada mais é que o “potencial para a perda” (CUTTER, 2011) e muitas são as variáveis sociais que culminam com o aumento da vulnerabilidade, no entanto, o grau de escolaridade possui considerável relevância, pois se encontra intimamente atrelada à pobreza e à marginalização (FREITAS, 2018).

Indivíduos com baixa escolaridade habitam áreas de risco e têm menor representação política, reduzida capacidade de prover seus próprios recursos (menos ativos para mobilizar), menor percepção de risco e apresentam mais dificuldades para compreender as informações que lhes são transmitidas, por isso, excluídos do processo de gestão de risco de desastres na maioria das vezes (FREITAS, 2018).

Paradoxalmente, comunidades que exercitam a cidadania mediante a construção do interesse de participação em ações coletivas têm consciência dos perigos a que estão expostos e a forma que estes contribuem para novos riscos. Sobretudo, quando conhecem as capacidades e recursos disponíveis para combatê-los, aumentam suas chances de prevenir desastres ou, ao menos, reduzir seu impacto, ou seja, o investimento no capital social é indispensável no combate à vulnerabilidade (D’AYALA et al., 2020; MATA-LIMA et al., 2013).

### **3.2 O fogo e seus derivados**

De todas as maneiras capazes de provocar o surgimento de focos de calor, a combustão espontânea e a incidência de descarga elétrica (raios) são exemplos das poucas causas de origem natural, pois, ao atingir a vegetação seca pode provocar incêndios florestais (OMENA et al., 2016). Por outro lado, cerca de 99%, tem origem antrópica, onde o comportamento do fogo e seu caráter destrutivo somente são influenciados por agentes e processos naturais após o início do evento (TEDIM; CARVALHO, 2013; SANTOS, 2010).

Dessa forma, ao se abordar os ecossistemas, o fogo destaca-se como um dos principais agentes modificadores da biodiversidade local, alterando a fauna e flora, os padrões da paisagem, a composição das espécies, podendo afetar toda a estrutura da comunidade, influenciando o fluxo de energia e os ciclos biogeoquímicos (THOMAZ, 2017). Em

ecossistemas contendo florestas e savanas, cuja propensão às queimadas é maior, o fogo desempenha um relevante papel na definição da composição e estrutura da vegetação (BELMOK et al., 2019).

Evidências científicas apontam para o aumento da inflamabilidade do bioma Amazônia como consequência das mudanças climáticas atualmente em curso no planeta, observadas através do aumento da temperatura e redução das precipitações em locais considerados úmidos. Assim, os processos que levam à redução da umidade e facilitam a propagação do fogo em áreas de floresta e agropecuária, aumentam cada vez mais na região (FONSECA-MORELLO et al., 2017).

Ainda nesse contexto, a fácil inflamabilidade das florestas associa-se a fatores indispensáveis como: tipo de combustíveis (resto de vegetais mortos) e disposição destes na área; clima seco, longos períodos de estiagem e seca; abertura do dossel, baixa umidade relativa do ar por mais de 60 dias que, aliada a ausência total de chuvas, deixa os combustíveis mais susceptíveis a combustão completa, elevadas temperaturas nos sub-bosques e fontes de calor existentes às proximidades das florestas (UHL; BUSBACHER, 1985; IBAMA, 2010).

Nesse aspecto, é relevante a utilização de imagens de satélite para o monitoramento de áreas queimadas e, dentre as várias ferramentas apresentadas por essa técnica, surgem os índices espectrais de vegetação sobressaindo-se na detecção de áreas queimadas, pois analisam a resposta única da vegetação em relação ao solo e outros alvos considerando intervalos numéricos (FERNANDES et al., 2016).

Dos índices citados, ressalta-se o Índice de Vegetação na Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), Índice da Água da Diferença Normalizada (NDWI), o Índice de Queima Normalizada (NDBR) e o Índice de Área Foliar (IAF) que correlacionados com a temperatura da superfície já emitem resultados eficientes na identificação de cicatrizes de queimadas (FERNANDES et al., 2016).

A ameaça de fogo está mais frequente porque a espécie humana, através de intervenções por meio de introdução de plantações florestais uniformes e inflamáveis nos ecossistemas “naturais”, aliadas ao êxodo rural e aumento de pastagens e áreas degradadas, deixaram a paisagem mais homogênea, portanto, mais susceptível a ocorrência de incêndios. A partir dessas interações Homem-Ecossistema é que encontramos a atual distribuição das formações vegetais (FERREIRA et al., 2015; TORRES et al., 2017).

Não muito raro, o fenômeno *El Niño* – Oscilação Sul (ENOS) contribui, sobremaneira, para a escassez de chuvas na estação de maior índice pluviométrico, o qual aparece abaixo do

nível da normalidade para a mesorregião Nordeste paraense (SILVA; WERTH; AVISSAR, 2008), afetando diretamente as microrregiões componentes.

Contrastando com o fenômeno *El Niño*, o *La Niña*, responsável por incrementar a quantidade de chuvas na mesorregião Nordeste paraense, justifica o início da estação chuvosa no denominado inverno amazônico. Tal fenômeno só ocorre em determinados períodos (ANDRADE et al., 2017), em que se observa o resfriamento do oceano pacífico.

Ambos os fenômenos interferem no clima da região amazônica e, embora sejam típicas dessa região, as estações com chuvas abundantes (inverno amazônico) e chuvas escassas (verão amazônico) surgem de forma a diferenciar, considerando os níveis de precipitação pluviométrica, o estado do Pará. Com isso, é possível identificar áreas semelhantes que são projetadas nas microrregiões (ANDRADE et al., 2017).

É no cenário de verão amazônico, em geral, que surgem as queimadas e incêndios, eventos responsáveis pela produção de grande quantidade de material particulado e gases tóxicos (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>), aldeídos, ácidos carbônicos, incluindo carcinogênicos e radicais livres, expondo áreas habitadas próximas às regiões de queimadas e/ou incêndios florestais, a maiores danos (MALILAY, 1999).

Entretanto, no meio rural, os agricultores ainda acreditam nos benefícios promovidos pelo fogo às suas áreas, como controle de plantas invasoras e instantânea disponibilidade dos nutrientes no solo, além de que suas propriedades ficam limpas para a introdução de novas culturas ou de sistemas agroflorestais. Essa prática ocorre devido à falta de maquinário que poderia ser usado como opção nas atividades de trituração dos resíduos e manutenção da área (COSTA, 2011; SANTOS et al., 2018).

Surge, então, a queima controlada que pode ser realizada por proprietários rurais com o objetivo de renovar pastagens, formação de aceiros e limpeza de áreas para os mais variados fins (SANTOS, 2010) e, segundo Heringer e Jacques (2001), espécies vegetais sob o regime de fogo recorrente que permanecem na comunidade, desenvolvem diversas estratégias para sobreviver, competir e se reproduzir. As técnicas utilizadas para a queima controlada são inúmeras e trazem vantagens e desvantagens.

Contudo, a queima controlada deveria ser a última alternativa para limpar áreas, uma vez que deterioram a vegetação, apresentam efeitos negativos no conteúdo de água do solo, reduzindo a infiltração e elevando a evapotranspiração, aumentam as perdas por erosão, liberam gases para a atmosfera que contribuem para o aquecimento global, geram a degradação do solo pela exposição direta à chuva, eliminam a biodiversidade vegetal e animal, estes, controladores

naturais de pragas e doenças, sem mencionar a perda de nutrientes essenciais ao crescimento das plantas e a ocorrência de possíveis incêndios (CROWDER; CHHEDA, 1983).

Esse fogo usado pelos agricultores, quando fora de controle, transformam-se em queimadas, podendo ou não, originar os incêndios florestais, os quais têm sido uma das principais causas de degradação de fragmentos florestais na Amazônia, afetando estes ambientes pela destruição direta bem como pela mudança que trazem à dinâmica ecossistêmica (GOBBO et al., 2016).

Os efeitos dos incêndios florestais, segundo Herawati e Santoso (2011), podem ser percebidos em várias escalas. Em um contexto local, ocorrem impactos sobre a biodiversidade, perdas financeiras e até mesmo de vidas; em esfera regional, a fumaça liberada traz problemas à saúde humana e afeta a visibilidade; em escala global, elevam a quantidade de gases presentes na atmosfera que, fatalmente, contribuirá para mudanças significativas no clima do planeta.

Embora tecnologias modernas já sejam difundidas e utilizadas para substituir as tradicionais queimadas, essa prática ainda é comumente usada por pequenos agricultores, pois trata-se de uma herança milenar. Esse tipo de processo pode causar grandes prejuízos à flora e fauna locais expondo à situação de risco, espécies em vias ou ameaçadas de extinção (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017).

O princípio de risco do fogo considera que muitos dias sem chuva em determinado local tende a elevar o risco de queima dessa vegetação e, para tanto, incluem-se também para cálculo desse risco o tipo de vegetação e seu ciclo natural de desfolhamento, temperatura e umidade, elevação topográfica, além da ameaça ou mesmo presença de fogo na área (INPE, 2016).

Florestas nunca incendiadas antes necessitam de semanas sem chuva para tornar-se inflamável e, em contrapartida, áreas reduzidas de floresta que já sofreu incêndio rasteiro fica inflamável apenas com nove a dezesseis dias de estiagem (NEPSTAD et al., 1999).

Considerando todos os critérios acima relacionados ao risco de fogo, surge a dinâmica de resposta do bioma Amazônia frente aos danos causados por incêndios florestais, em que espécies deste bioma não estão preparadas para suportar tal evento e são desprovidas de características relacionadas com o pós-fogo (capacidade de rebrotes e ritidomas espessos), podendo desaparecer, caso o fogo se torne um fator preponderante para a mudança da paisagem no bioma Amazônia. (LIESENFELD; VIEIRA; MIRANDA, 2016).

Segundo Fonseca-Morello et al. (2017), a atividade denominada economia do fogo, que compreende a agropecuária e setores relacionados, causa na maioria das vezes, o aparecimento dos incêndios florestais e queimadas na Amazônia, ações não controláveis pelo

governo, uma vez que tais eventos são causados por decisões descentralizadas de pessoas que se beneficiam dessa prática.

Dessa forma é compreensível entender o motivo pelo qual não existe no Brasil uma estratégia de gestão de riscos focada em incêndios florestais, uma vez que este tipo de gestão necessitaria de prévia estruturação delegando responsabilidades a agentes pré-determinados e criando uma cadeia de comunicação que alcançaria todas as esferas, desde a nacional até a local (GILL, 2005; ANDERSON et al., 2019).

Neste cenário, é possível observar fragilidades Institucionais governamentais e não-governamentais existentes acerca desse tipo de evento, uma vez que falta, por parte da administração pública em todas as esferas, e privada, ações mais efetivas que assegurem a capacidade de prevenção e de resposta, o monitoramento, a comunicação e a fiscalização, dentre outras não menos importante (ANDERSON et al., 2019).

Essa ausência de estratégias causa, indiretamente, impactos negativos observadas no pós-evento como: alterações no ecossistema local, perdas de vida e perdas econômicas (produção agropecuária, produtos madeireiros e não-madeireiros, infra estruturais), problemas respiratórios, interrupção de energia elétrica, no tráfego aéreo e terrestre, emissão de gases de efeito estufa, dentre outros (ANDERSON et al., 2019).

Ainda segundo Anderson et al. (2019), a fim de minimizar o uso do fogo por pequenos agricultores na Amazônia, alguns estados já receberam apoio por parte dos governos (investimentos na aquicultura, extração de produtos florestais não-madeireiros, uso de leguminosas para adubação verde e sistemas agroflorestais), porém, sem alcançar todas as comunidades dependentes do fogo com critérios para serem priorizadas. Essa falha na comunicação revela fragilidades no sistema de alerta (Capacidade de prevenção e comunicação).

Algumas Instituições foram criadas ou reestruturadas pelo governo federal com a finalidade de prevenir ou combater o fogo em propriedades rurais como, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o Sistema Nacional de Prevenção e Controle de Incêndios florestais (Prevfogo), ligado ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), este também responsável pela operação Apoena, cujas ações eram focadas à prevenção de incêndios em áreas e períodos em que probabilidade de ocorrência desses eventos é elevada (ANDERSON et al., 2019).

Em âmbito estadual e municipal, as ações são geridas pelos governos e prefeituras. No Pará, geralmente são celebradas parcerias com outras instituições, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

do Estado do Pará (EMATER) e Organizações Não Governamentais (ONGs), onde são pesquisadas e difundidas práticas de campo sem utilização do fogo, tais como: sistema de corte sem queima, sistema de trituração mecanizada de vegetação de pousio, roça sem queima, Sistemas Agroflorestais (SAFs), dentre outros (FONSECA-MORELLO et al., 2017).

Em 2020, no estado do Pará, entrou em ação a operação “Amazônia Viva”, que integra o eixo de Comando e Controle, do Plano Estadual Amazônia Agora, do Governo do Pará, e coordenação da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas), principal estratégia para conter o desmatamento ilegal e queimadas, com a participação dos povos e comunidades tradicionais, indígenas e quilombolas, além de buscar zerar a emissão líquida de gases do efeito estufa até o ano 2035 (SEMAS, 2020).

Sabe-se que o conhecimento e entendimento acerca das condições meteorológicas e suas relações com a susceptibilidade da vegetação ao fogo podem ter grande valia na construção de políticas públicas voltadas para a gestão dos recursos ambientais da Amazônia, com capacidade de potencializar ações de monitoramento, prevenção, controle e combate eficiente de queimadas e incêndios em áreas urbanas e rurais (VASCONCELOS et al., 2015).

Vale ressaltar que, sob a ótica socioeconômica, a população agrícola da Região Norte do Brasil é composta, em sua maior parte, por população de baixa renda, com baixo nível de instrução, o que pode vir a ser um fator limitante no tocante ao aprendizado de tecnologias e metodologias mais modernas que possam elevar o potencial agrícola e reduzir o uso de fogo (ALVAREZ, 2017; XIMENES et al., 2019).

Uma das ações a ser adotada seria educar os usuários do fogo, os quais, por múltiplas razões, encontram discordâncias entre as recomendações teóricas e a prática, o que dificulta a eficácia de ações educativas (COSTA, 2006). Atualmente existem escolas de Ensino Fundamental e médio inseridas no projeto educativo na prevenção de desastres, mas ainda há grande carência no ensino das escolas rurais e urbanas em áreas de risco, voltados às ameaças e vulnerabilidades do uso do fogo (CEMADEN, 2017).

Ainda no contexto envolvendo educação para a redução do uso do fogo, cita-se como exemplo, algumas famílias rurais da região do Xingu que, por iniciativas próprias e após capacitação/treinamento adequados, iniciaram formas mais sustentáveis de manusear a terra em opção à utilização do fogo (ALMEIDA, 2011).

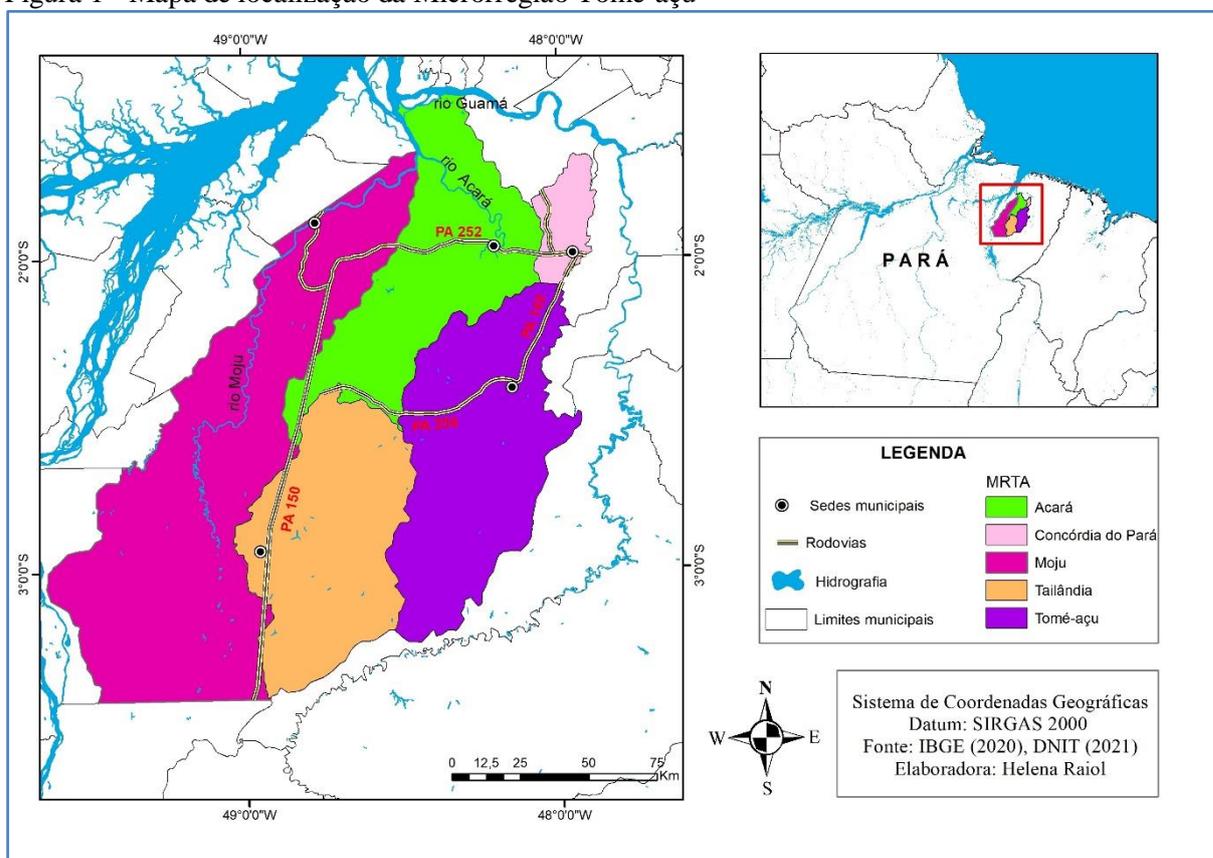
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho apresentado contou com as seguintes etapas metodológicas: pesquisa bibliográfica sobre a Microrregião de Tomé-açu; levantamento e análise de dados secundários obtidos de plataformas abertas; utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e software ARCMAP do ARCGIS 10.5 para a construção de mapas; Software estatístico R para análises multivariadas (*K-Means clustering* e Análise da Componente Principal).

### 4.1 Área de estudo

A Microrregião Tomé-açu (MRTA) está localizado no Nordeste do Estado do Pará, possui área de 23.802,44 Km<sup>2</sup>, situa-se entre Latitude 2° 54' 45" e 3° 16' 36" Sul e Longitude 47° 55' 38" e 48° 26' 44" Oeste, composta por cinco municípios: Acará, Concórdia do Pará, Moju, Tailândia e Tomé-açu (Figura 1); possui população estimada para o ano de 2019, em torno de 341 mil habitantes (IBGE, 2019), atravessada pelas rodovias estaduais PA-140, PA-150, PA-252 e PA-256 (DNIT, 2019).

Figura 1 - Mapa de localização da Microrregião Tomé-açu



Fonte: Autora.

A MRTA localiza-se, quase totalmente, na região da bacia Atlântico, trecho Norte-Nordeste, e sua rede hidrográfica constituída, principalmente, pelos rios Acará, Guamá e Moju e seus subafluentes (ANA, 2019), apresenta valores de Precipitação Média Anual (PMA) variando entre 1.750 mm e 3.000 mm correspondendo ao período de meses menos chuvosos e mais chuvosos, respectivamente, está classificada climaticamente como Af, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013) com massa de ar quente e úmida instável e médias térmicas anuais com amplitude entre 24°C a 27°C (SANTOS et al., 2019).

## 4.2 Vegetação

A fisiografia local é representada por mata fechada e densa, composta por árvores de grande porte adaptadas a elevada quantidade de água (higrófitas) que compõem a paisagem. Observa-se ainda grupos de vegetais com folhas largas e grandes (latifoliadas) encontrados em regiões cujo clima é tropical úmido e equatorial (AB'SABER, 2003). Há também presença de matas de Terra firme, várzea e igapó (CORDEIRO et al., 2017).

O uso e cobertura da terra era dividido em aproximadamente 45% de floresta primária, 3,70% de floresta secundária, 16% de pastagem, 1% de área usada para agricultura e o restante refere-se a plantas em estágios sucessionais iniciais, reflorestamentos e áreas não observadas (CORDEIRO; ARBAGE; SCHWARTZ, 2017; INPE, 2014), consequência do processo de antropização e desmatamento (CORDEIRO et al., 2017).

Costa (2012), ao se referir a MRTA, considera que sua vegetação original era composta totalmente por floresta ombrófila densa, minimamente modificada, com presença de espécies botânicas como mogno, cerejeira, imbuia, peroba, angelim, aroeira e a castanheira, muitas delas, atualmente, em situação de vulnerabilidade.

Essa floresta teve sua cobertura vegetal suprimida ao longo dos anos, devido a variados usos e foi incorporada de maneira inadequada para a produção agropastoril, expansão da malha urbana, dentre outros, sendo convertida, progressivamente, em floresta secundária (capoeira) ou solo exposto, após o uso temporário e indevido da terra (exploração madeireira, pastagem, agricultura e o agronegócio) (BECKER, 1995; BECKER, 2009). Atualmente essa cobertura vegetal se apresenta da seguinte forma: floresta (60,9%), pastagem (18,4%) e dendezaís (9,6%) (SANTOS et al., 2019).

Após a derrubada das matas para a construção de rodovias, já era possível observar as primeiras alterações na paisagem, alterando a fisiogeografia local, ocasionadas por intervenção antrópica em que essas matas naturais foram substituídas por fazendas de criação de bovinos

que, juntas com lavouras de subsistência, suscitaram os núcleos urbanos da MRTA (BECKER, 1995; BECKER, 2009; CARDOSO, 1977).

### **4.3 Origem étnica e povoamento da MRTA**

Toda a ocupação dessa microrregião tem como principais representantes étnicos os remanescentes quilombolas e indígenas (representantes da população tradicional), os portugueses e forte presença de nordestinos, que chegaram à região durante um fluxo migratório muito intenso em meados da década de 70. Em Moju ainda é possível encontrar um grupo indígena e em Tomé-açu, quatro grupos indígenas (BARBOSA et al., 2011; INCRA, 2019).

Ainda entre os anos 50 e 80, os militares promoveram o programa “Integração Nacional”, quando ocorreu um novo ciclo de ocupação, em virtude da construção de grandes rodovias como a BR-010, BR-316 e BR-222 (CORDEIRO et al., 2017).

Em se tratando da entrada de imigrantes nesta microrregião, houve um acordo entre os governos brasileiro e japonês que culminaria para a solução de dois problemas: a ocupação da Amazônia com mão-de-obra capaz de povoar a região e a emigração de camponeses que viviam em situação difícil no Japão. Finalmente, em 1929, chega a Belém o primeiro grupo de japoneses para ocuparem o município de Acará (CARVALHO, 2016).

Estes ciclos de ocupação e desenvolvimento acarretaram mudanças na paisagem, refletindo em valores culturais, socioeconômicos, ambientais e políticos dos novos habitantes, culminando com a expulsão de populações tradicionais dos seus locais de origem. Esses aspectos peculiares não estão embasados somente no modo de colonização, mas, sobretudo, nos processos diferenciados das relações dos imigrantes com o meio ambiente (CORDEIRO et al., 2017).

### **4.4 Caracterização da População da MRTA e suas atividades econômicas.**

De acordo com o IBGE (2010), 49,77% da população da mesorregião nordeste paraense, onde se encontra a microrregião Tomé-açu, viviam em áreas rurais e 50,23% ocupavam áreas urbanas. Portanto, é uma região que, apesar da crescente urbanização, ainda mantém características de um espaço rural, além de ser a mais antiga mesorregião colonizada da Amazônia, onde se observa grandes áreas de vegetação nativa fragmentada, compondo uma paisagem já modificada por intervenção humana (VIEIRA; TOLEDO; ALMEIDA, 2007).

Esta mesorregião merece destaque por apresentar, além da farinha de mandioca, duas outras frentes de produção: o extrativismo e a produção de gêneros alimentícios tipicamente amazônicos (açaí, castanha-do-Pará e palmito), considerados exóticos e saudáveis, alcançando

reconhecimento expressivo no mercado; a outra frente é a produção de dendê destinada tanto para a indústria alimentícia, quanto para a de biocombustíveis (PINHO, 2015), concentradas suas empresas na MRTA.

Esta microrregião possui condições edafoclimáticas propícias para a cultura do dendê que, aliada a condição da população predominantemente rural dos municípios desta microrregião, cujos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) são baixos: Acará (0,506), Concórdia do Pará (0,566), Moju (0,547), Tailândia (0,588) e Tomé-açu (0,586), e muitas famílias beneficiadas por programas do governo Federal, impulsionou o governo do Estado a criar políticas de incentivo a grupos nacionais e internacionais de implantação da dendeicultura na região (IBGE, 2010; NAHUM; MALCHER, 2012).

Os plantios de dendê crescem robustos e acelerados, causando vazios de camponeses nas áreas rurais, que ocorre por meio de conversão da força de trabalho, antes, familiar, agora, assalariados rurais trabalhando para as grandes companhias agroindustriais de produção de óleo de palma e, somados a esse fato, trabalhadores de outras regiões são atraídos por oportunidades de trabalho ofertadas por atividades agropecuárias, causando, assim, um aumento populacional na MRTA. (NAHUM; SANTOS, 2014).

Nesse contexto, a localização preferida dos investidores para o plantio do dendê são os municípios de Moju, Tailândia, Acará e Tomé-açu, onde se concentram as maiores áreas e as três empresas mais representativas do ramo (Agropalma, Biopalma e BBB/Petrobras/Galp) que, além de possuir propriedades próprias, também constituem parceria com agricultores camponeses da região (LAMEIRA; VIEIRA.; TOLEDO, 2015). De acordo com Nahum e Santos (2015), citando o Decreto 7.172 de 07 de maio de 2010, “nos municípios da microrregião de Tomé-açu encontramos 395.120,88 ha preferenciais e 122.521,68 ha regulares para cultivo de dendê”.

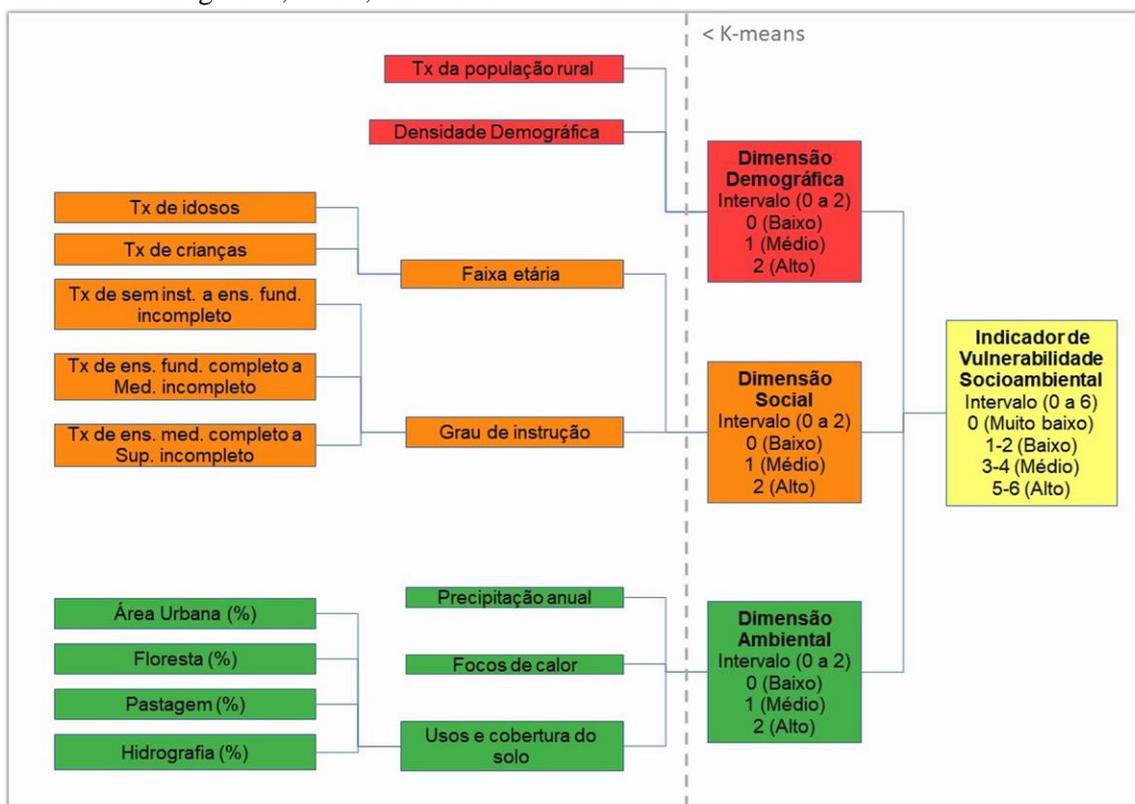
Ainda de acordo com os autores, em 2013, áreas maiores dos municípios de São Domingos do Capim, Bujaru, Concórdia do Pará, Igarapé-Açu e Bonito também foram ocupadas pelo plantio da palma.

O primeiro ponto atrativo nessa região é a grande demanda de terras em condições potencialmente favoráveis ao cultivo da palma, seguido por terras em diversas condições (pertencentes a pequenos proprietários, fazendas de gado ou falidas, dentre outras) as quais serão pleiteadas no mercado pelas empresas dendeicultoras interessadas em investir na região (NAHUM; SANTOS, 2018).

#### 4.5 Indicador de vulnerabilidade socioambiental

Neste trabalho, integrou-se algumas variáveis pertencentes a dimensões demográfica, social e ambiental para culminar na construção de somente um indicador denominado de Indicador Socioambiental, cujo esquema encontra-se exibido na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma da obtenção dos escores e das classificações de vulnerabilidade para as dimensões demográfica, social, ambiental e socioambiental.



Fonte: Elaborado pela Autora., adaptado de Morato (2008).

Foram calculadas as taxas demográficas, sociais e ambientais, cujos valores foram utilizados na equação de Morato (2008), e o resultado, utilizado na análise estatística multivariada de *K-Means clustering*. Dessa análise, foram obtidas classificações em três níveis, chamados de “escores”, enumeradas como 0, 1 e 2, aos quais foram atribuídas categorias de baixo, médio e alta vulnerabilidade respectivamente, considerando a importância de cada tema abordado neste trabalho. Ao final, somam-se os valores dos “escores” demográfico, social e ambiental para originar os valores e suas respectivas classificações socioambientais. A descrição da metodologia utilizada para *K-Means* aparece mais detalhado no fim deste tópico.

#### 4.5.1 Obtenção da Dimensão demográfica

##### 4.5.1.1 Taxa da população da área rural

A partir da Portal SIDRA do *site* do IBGE, foi organizada uma planilha em Excel contendo os dados referentes a população residente em zonas rural e urbana. A taxa da população rural foi calculada para cada um dos cinco municípios componentes da MRTA, através do quociente dos valores da População rural por População total de determinado município, como mostrado na equação abaixo.

$$Tx_{Pr} = \frac{P_R}{P_T} \quad (1)$$

Onde:

$Tx_{Pr}$  = Taxa da População Rural

$P_R$  = População Rural

$P_T$  = População total do município

##### 4.5.1.2 Densidade demográfica

Consultou-se o *site* do IBGE para composição da planilha composta para esses dados. Para efeitos de cálculo, esse indicador é obtido considerando-se a relação de habitantes/Km<sup>2</sup>, de acordo com a equação 2.

$$D = \frac{H}{A(Km^2)} \quad (2)$$

Onde:

D = Densidade Demográfica

H = n° de habitantes (estimados para 2019) em valores absolutos

A = Área total do município

Por fim, confeccionou-se os mapas de densidade demográfica urbana e rural dos municípios em questão, utilizando os dados do último Censo Demográfico Nacional (IBGE, 2010). Avaliou-se o quantitativo populacional de cada setor censitário da área rural e então obteve-se o quociente entre o total de pessoas pela área do setor, obtendo-se ao final a densidade em habitantes/km<sup>2</sup> e, posteriormente, os dados foram especializados em um ambiente SIG.

#### 4.5.2 Obtenção da dimensão social

##### 4.5.2.1 *Taxa por faixa etária (crianças e idosos)*

A escolha desse indicador foi feita pelo entendimento de que crianças e idosos possuem reduzida mobilidade e dependência de outras pessoas para locomoção, em que grande parte possui saúde comprometida, o que potencializa sua condição de vulnerável (BIRKMANN; FERNANDO; HETTIGE, 2006; MITCHELL et al., 2009). Para esta etapa, obteve-se os dados disponibilizados pelo IBGE (2010), os quais foram organizados em planilha Excel, separando-se os indivíduos por faixa etária e considerando-se criança, pessoas com faixa de idade entre zero e dez anos incompletos (WHO, 1986); idosos, pessoas com idade igual ou superior a 60 anos, conforme o Estatuto do Idoso (Lei n. 10.741, de 01.10.2003) (BRASIL, 2003).

Para se conhecer a taxa de população por faixa etária, considerando somente as crianças e os idosos, calculou-se a taxa de crianças, que corresponde ao total de crianças do município pelo número total da população, como na equação 3; e a taxa de idosos que segue o mesmo raciocínio utilizado para calcular a taxa de crianças, como mostrado na equação 4. Ao final somou-se as Taxas de crianças e idosos para obtenção da taxa por faixa etária, como mostrado na equação 5.

$$Tx_C = \frac{C}{P_T} \quad (3)$$

$$Tx_I = \frac{I}{P_T} \quad (4)$$

$$Tx_{CI} = Tx_C + Tx_I \quad (5)$$

Onde:

$Tx_C$  = Taxa de Crianças

$Tx_I$  = Taxa de Idosos

$Tx_{CI}$  = Taxa de Crianças e Idosos

C = Número total de crianças

I = Número total de idosos

$P_T$  = População total do município

##### 4.5.2.2 *Taxa da população por nível de escolaridade*

Esse indicador foi escolhido porque, teoricamente, quanto maior o grau de escolaridade maior o conhecimento sobre os riscos a que a população está exposta (GAMBA; RIBEIRO, 2012). Acerca dos dados de grau de escolaridade (sem escolaridade até superior completo) da

população da MRTA, considerou-se para contabilização da pesquisa apenas pessoas a partir de dez anos de idade, admitindo-se como grau máximo de escolaridade o ensino superior incompleto. Para obtenção da taxa de nível de escolaridade, calculou-se o quociente entre o número de pessoas por grau de escolaridade e o número total de pessoas de cada município, conforme equação 6.

$$Tx_{GE} = \frac{P_{GE}}{P_T} \quad (6)$$

Onde:

$Tx_{GE}$  = Taxa de pessoas por Grau de Escolaridade

$P_{GE}$  = Número de pessoas por Grau de Escolaridade

$P_T$  = População total do município

#### 4.5.3 Obtenção da dimensão ambiental

##### 4.5.3.1 *Precipitação pluviométrica*

Fez-se o *download* dos dados de precipitação pluviométrica da Agência Nacional das Águas (ANA) utilizando a base de dados hidroweb, fazendo a busca por município e abrindo o ícone que representa dados pluviométricos; uma vez aberta a janela com informações, baixou-se os dados no formato CSV dos municípios de Acará, Moju, Tailândia e Tomé-açu.

Calculou-se as médias aritméticas anuais dos volumes de precipitações pluviométricas, cujos dados foram obtidos da leitura feita por estações automáticas no período de 2010 a 2019, em que para cada um dos municípios foi possível extrair dados de duas estações, excetuando-se Tailândia, que apesar de possuir duas estações, apenas de uma foi possível a obtenção dos dados, e Concórdia do Pará, que não possui estações, portanto, para este último, foi necessário utilizar dados estimados mensais do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) disponibilizados gratuitamente no sistema *online* GPCC VISUALIZER (CORREIA FILHO et al., 2019).

Os dados da média anual de precipitação pluviométrica foram utilizados para elaboração de uma tabela, de forma a tornar mais didático o comportamento dessa variável ao longo dos dez anos estudados, bem como em análise estatística multivariada (*K-Means clustering* e PCA).

#### 4.5.3.2 *Número de focos de calor*

Os dados referentes aos Focos de calor foram obtidos a partir do BDQUEIMADAS (banco de dados de Queimadas) disponíveis na plataforma do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); a busca foi feita para uma série temporal de dez anos (2010 a 2019); os dados baixados em formato CSV foram convertidos em XML, então, se calculou a somatória anual e mensal de focos de calor por município, cujos resultados originaram tabelas, gráficos e foram usados em análises estatísticas multivariadas (*K-Means clustering* e PCA).

#### 4.5.3.3 *Mapas de focos de calor*

Para a confecção dos mapas de focos de calor utilizou-se o software ARCMAP versão 10.5 e dados de localização do estado do Pará e da MRTA em formato *shapefile*, obtidos do portal do IBGE. Os dados de focos de calor, também em *shapefile*, foram obtidos do banco de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O sistema de coordenadas geográficas adotado foi o SIRGAS 2000 UTM 22S, que representa a região estudada; utilizou-se cinco níveis de classificação de vulnerabilidade, variando sua tonalidade, sendo: muito baixa (branco), baixa (verde), média (amarela), alta (laranja) e muito alta (vermelha), de acordo com densidade do número de focos de calor encontrada através da ferramenta de estimativa de densidade de Kernel, variando de acordo com a presença de focos de calor detectados.

Aplicou-se o estimador disponível no menu *arctoolbox* “*Spatial Analyst tools*”, “*Kernel Density*”. Esse estimador aplica uma função matemática 1, na posição do ponto a 0, na fronteira da vizinhança, criando uma delimitação circular ao redor de cada ponto da amostra a partir do seu raio de influência com o intuito de identificar os pontos de maior concentração (SILVERMAN, 1986).

O erro de localização dos focos de queimada está na média de aproximadamente 0,4 Km, valor baseado em trabalhos de validação, com desvio padrão de cerca de 0,3 Km, ou seja, cerca de 80% dos focos distam em um raio de 1 Km das coordenadas indicadas (IBAMA, 2016).

#### 4.5.3.4 *Uso do solo*

Para a análise multitemporal da mudança dos usos do solo na MRTA foram adquiridas as imagens de satélite da série LANDSAT, disponíveis no *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS - Earth Explorer), das cenas 223/61, 223/62, 224/61 e 224/62, que englobam todos os cinco municípios da área estudada.

Para os anos de 2010 a 2012, os dados utilizados são provenientes do satélite LANDSAT 5 TM, nas bandas do vermelho (B3), infravermelho próximo (B4) e infravermelho

médio (B5). Para o período entre 2013 e 2019, utilizou-se as imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, nas bandas do vermelho (B4), infravermelho próximo (B5) e infravermelho médio (B6). As imagens selecionadas, ano a ano, ocorreu em função da presença da menor quantidade de nuvens, uma vez que elas interferem nas análises. O processamento das imagens baixadas ocorreu primariamente no software ArcMAP versão 10.5 executando-se para cada ano, o método da Composição Colorida de Falsa Cor, que permite a melhor visualização dos alvos para análises de usos do solo (YULIANTO et al., 2019).

As imagens do LANDSAT 5 foram processadas com o conjunto das bandas 5, 4 e 3, nesta ordem e as do LANDSAT 8 em com o conjunto das bandas 6, 5 e 4, também nesta ordem. Posteriormente, recorreu-se ao software ENVI Classic, para a confecção dos mosaicos das imagens de cada ano, agregando-se imagens de cenas diferentes em uma única imagem equivalente e georreferenciada. Novamente no software ArcMAP 10.5 executou-se as imagens pelo método *Extract By Mask*, recortando a imagem desejada somente dentro de uma área delimitada que aqui se refere à região em estudo.

Por fim, utilizou-se o software ENVI versão 5.0 para as análises dos usos do solo, selecionando-se manualmente regiões de interesse, que representavam 6 parâmetros diferentes: Hidrografia, Solo Exposto, Área Urbana, Pastagem, Floresta e Área Não Observada (nuvens). Então se executou a ferramenta de Classificação Supervisionada por Máximo Verossimilhança, em que todas as análises apresentaram coeficiente Kappa > 80% na pós-classificação (GEVANA et al., 2015).

Os dados gerados foram usados de três maneiras: 1 - convertidos em formato shapefile (.shp) para construção de mapas comparativos; 2 – Criação de uma tabela exibindo a evolução das classes ambientais comparando a realidade de 2010 e a de 2019, e 3 –Análise em K-Means clustering e PCA, com valores resultantes das médias de cada classe ambiental. Dados referentes a solo exposto foram excluídos por não contribuir significativamente neste trabalho, assim como, dados de áreas não observadas, por não esclarecer as classes encobertas por nuvens.

Para a elaboração da tabela de comparação, tomou-se os dados de 2010 e 2019 convertidos de ha para Km<sup>2</sup> e dividiu-se a área de cada classe pela área de cada município. Isso feito para 2010 e 2019 (Equação 7). Para a tabela de Proporcionalidade de classe ambiental por município, utilizou-se o quociente obtido dos valores das classes no ano de 2019 (último cenário da região em estudo) pela área de cada município.

$$Tx_c = \frac{Ac}{A} * 100 \quad (7)$$

Onde:

$Tx_c$  = Taxa de classe

$Ac$  = Área de cada classe (Km<sup>2</sup>)

$A$  = Área total do município (Km<sup>2</sup>)

#### 4.6 Cálculos dos escores de vulnerabilidade

Para calcular escores dos Indicadores demográfico, social e ambiental dos municípios organizou-se as variáveis, previamente definidas, em ordem crescente, definindo-se para o maior valor ( $V_{max}$ ) o número um e para o menor valor ( $V_{min}$ ) o número zero. Os valores intermediários foram calculados a partir das equações 8 e 9 (MORATO, 2008).

$$V_1 = \frac{(V_{obs} - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} \quad (8)$$

$$V_2 = \frac{(V_{max} - V_{obs})}{(V_{max} - V_{min})} \quad (9)$$

Onde:

$V_1$  = Valor intermediário para variáveis diretamente proporcionais a risco ambiental

$V_2$  = Valor intermediário para variáveis inversamente proporcionais a risco ambiental

$V_{obs}$  = Valor observado

$V_{min}$  = Valor mínimo

$V_{max}$  = Valor máximo

##### 4.6.1 Obtenção dos Indicadores usando Análise multivariada *K-Means clustering*

Para calcular o valor final do Indicador de vulnerabilidade Socioambiental à ameaça de fogo e seus derivados, usou-se o algoritmo *K-Means Clustering* do pacote stats (R Core Team, 2020), definido em três centros, obtidos do valor médio de todas as variáveis de cada uma das dimensões (ambiental, demográfica e social), para classificar os municípios a partir dos valores obtidos das equações 8 e 9, elencando-se em categorias de baixa, média e alta vulnerabilidade (0, 1 e 2 respectivamente) para cada dimensão avaliada. Somou-se os valores encontrados da vulnerabilidade de cada dimensão e com o resultado atribuiu-se uma escala de zero a seis para o Indicador de vulnerabilidade Socioambiental, adotando-se a seguinte classificação: 0 (Muito baixa), 1-2 (Baixa), 3-4 (Média), 5-6 (Alta) (GONÇALVES et al., 2014).

#### 4.7 Análise do Componente Principal

Foi aplicada a PCA (*Principal Components Analysis*) para reduzir a complexidade dos dados originais e avaliar os diferentes agrupamentos com comportamentos semelhantes. Para isso, foram utilizadas variáveis ambientais registradas ao longo de dez anos (2010 a 2019) e variáveis demográficas e sociais obtidas no último censo de 2010 dos municípios da MRTA. Para a *Principal Components Analysis* utilizou-se a função `prcomp` do pacote `stats` (R Core Team, 2020).

Essas variáveis foram previamente selecionadas, excluindo-se as que apareciam auto correlacionadas. Inicialmente foram padronizadas utilizando-se a função `decostand` do pacote `vegan` (OKSANEN et al., 2020) para eliminar a influência de diferentes unidades de medida. Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2020; version 4.0.3) e para as figuras utilizou-se os pacotes `ggplot2` (WICKHAM, 2009) e `grepel` (SLOWIKOWSKI, 2021).

#### 4.8 Classificação de vulnerabilidade demográfica, social, ambiental e socioambiental

Com auxílio do software ARCMAP versão 10.5 foram construídos os mapas temáticos da MRTA, com o sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000 UTM 22S escala 1:1.250.000, usando-se dados de divisão administrativa da microrregião em questão disponibilizados pelo IBGE. A etapa seguinte tratou da enumeração dos municípios da MRTA, que foram identificados no mapa de acordo com a classificação de vulnerabilidade obtida da análise de *K-means*, atribuindo-se cores de acordo com os escores encontrados, de forma a categorizar a vulnerabilidade seguindo o esquema de cores utilizado para construção dos mapas de densidade de Kernel (Quadro 1).

Quadro 1 – Atribuição de cores para as classificações das vulnerabilidades demográfica, social e ambiental.

Escore	Cor	Classificação
1	VERDE	Baixa
2	AMARELO	Média
3	VERMELHO	Alta

Fonte: Autora.

#### 4.9 Classificação de vulnerabilidade socioambiental

O mapa de vulnerabilidade socioambiental foi confeccionado nos mesmos moldes dos mapas de vulnerabilidade demográfica, social e ambiental, entretanto, para este mapa utilizou-se a soma dos “escores” encontrados em *K-Means clustering* para as dimensões já citadas, com os valores encontrados inseridos em intervalo de 0 a 6 (Quadro 2).

Quadro 2 – Atribuição de cores para as classificações da vulnerabilidade socioambiental.

Escore	Cor	Classificação
0	AZUL	Muito Baixa
1-2	VERDE	Baixa
3 - 4	AMARELO	Média
5 - 6	VERMELHO	Alta

Fonte: Autora.

## 5 RESULTADOS

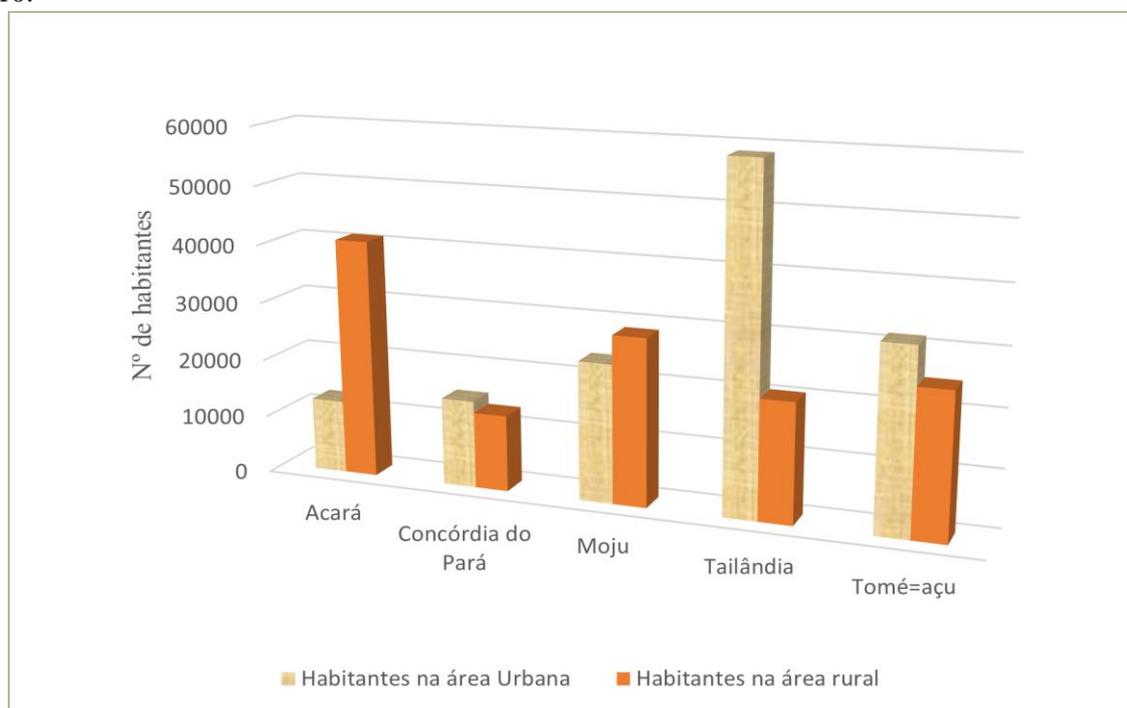
### 5.1 Vulnerabilidade sociodemográfica

#### 5.1.1 Dimensão demográfica

##### 5.1.1.1 Análise da variável População rural e urbana

Na MRTA, em dez anos, houve o aumento da população com consequente concentração de pessoas nas áreas urbanas. Nesse contexto e de acordo com o Gráfico 1, infere-se que Tailândia, Tomé-açu e Concórdia do Pará possuem mais pessoas residindo na área urbana, com destaque para Tailândia, cuja população (aproximadamente 60 mil) corresponde a pouco mais que o dobro da população residente na área rural; já nos municípios de Acará, a população rural se aproxima de 41 mil pessoas, três vezes e meio a mais que a urbana; em Moju predomina a população residente na área rural (cerca de 29 mil).

Gráfico 1- Análise entre o número de habitantes das zonas rural e urbana dos municípios da MRTA, em 2010.



Fonte: Autora.

##### 5.1.1.2 Análise da variável Densidade demográfica

No período abrangido pelo presente estudo foi possível observar o aumento populacional dos municípios da MRTA o que gerou aumento na densidade demográfica, onde Acará passou de 12,33hab./Km<sup>2</sup> para 12,80hab./Km<sup>2</sup>; Concórdia do Pará, de 40,84 para 47,56; Moju de 7,7 para 9,03; Tailândia de 17,9 para 24 e Tomé-açu de 10,98hab./Km<sup>2</sup> para 12,33hab./Km<sup>2</sup>. Nota-se que, entre 2010 e 2019, os municípios sofreram acréscimo em sua

população: Tailândia em 25,43%, seguido por Concórdia do Pará (15,31%), Moju (14,71%), Tomé-açu (12,91%) e Acará (3,64%) (Tabela 1).

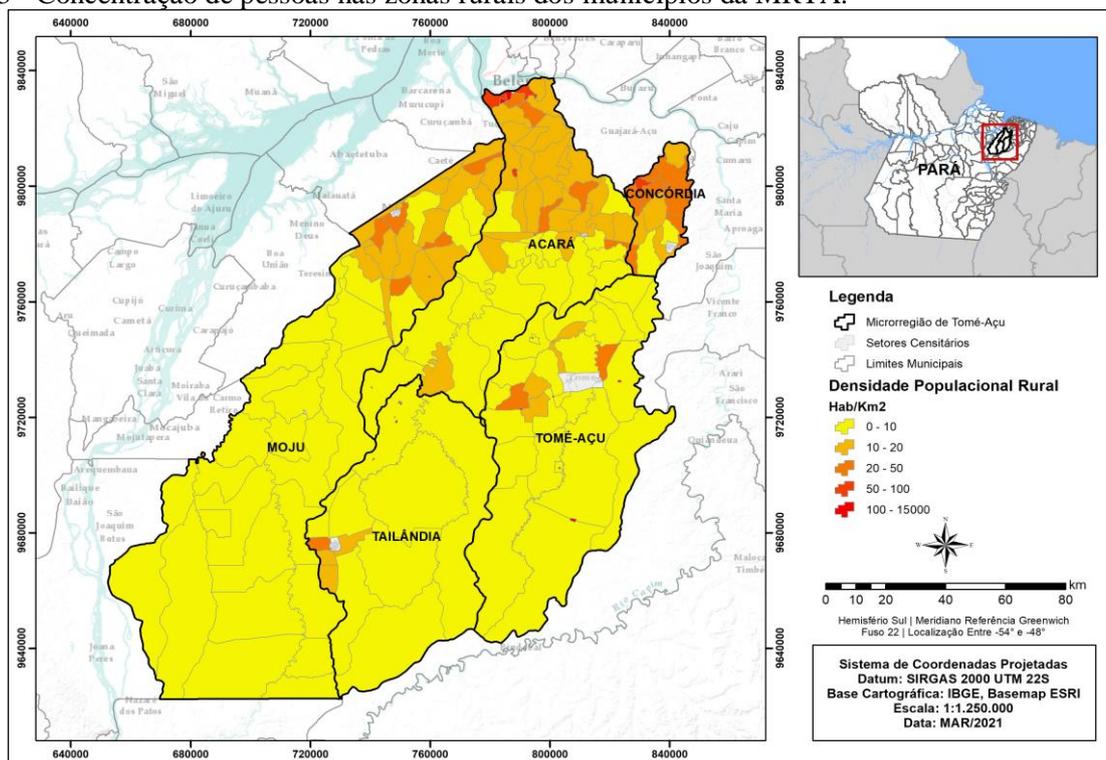
Tabela 1 – Aumento da densidade demográfica e populacional dos municípios da MRTA.

<b>Municípios</b>	<b>Densidade Demográfica 2010 (hab./km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade Demográfica 2019 (hab./km<sup>2</sup>)</b>	<b>Aumento na densidade demográfica (%)</b>	<b>Aumento da população entre 2010 e 2019 (%)</b>
Acará	12,33	12,80	3,81	3,64
Concórdia do Pará	40,84	47,58	16,01	15,31
Moju	7,70	9,03	17,27	14,71
Tailândia	17,90	24,00	34,08	25,43
Tomé-açu	10,98	12,33	12,30	10,91

Fonte: Autora, adaptado de IBGE (2020).

Nos resultados encontrados para as dimensões demográficas, considerou-se o ano de 2019, por representar a realidade mais recente desta pesquisa e, com base nesse cenário, a Figura 3 exibe a densidade populacional rural de todos os municípios da MRTA: Tailândia possui densidade demográfica relativamente elevada (24 hab./Km<sup>2</sup>), com o maior acréscimo populacional em dez anos (25,43%), concentra a maior parte da população em área urbana (74%) e possui considerável área territorial (cerca de 19% da MRTA). A condição de possuir a menor proporção da população concentrada em área rural (gráfico 1) o classifica sob baixa vulnerabilidade.

Figura 3 - Concentração de pessoas nas zonas rurais dos municípios da MRTA.



Fonte: Autora.

Situação similar de densidade demográfica versus população também foi observada em Tomé-açu, que possui densidade demográfica relativamente baixa (12,33 hab./Km<sup>2</sup>) com o maior número de pessoas (cerca de 56%) concentrado em áreas urbanas, sendo estas pouco representativas quando comparadas ao resto de sua área territorial, com número de pessoas variando de zero a dez na maior parte do município (Figura 3), no entanto, ao se considerar a distribuição populacional neste município, principalmente, em áreas rurais, a vulnerabilidade a ameaças de fogo tende a ser baixa (Figura 4).

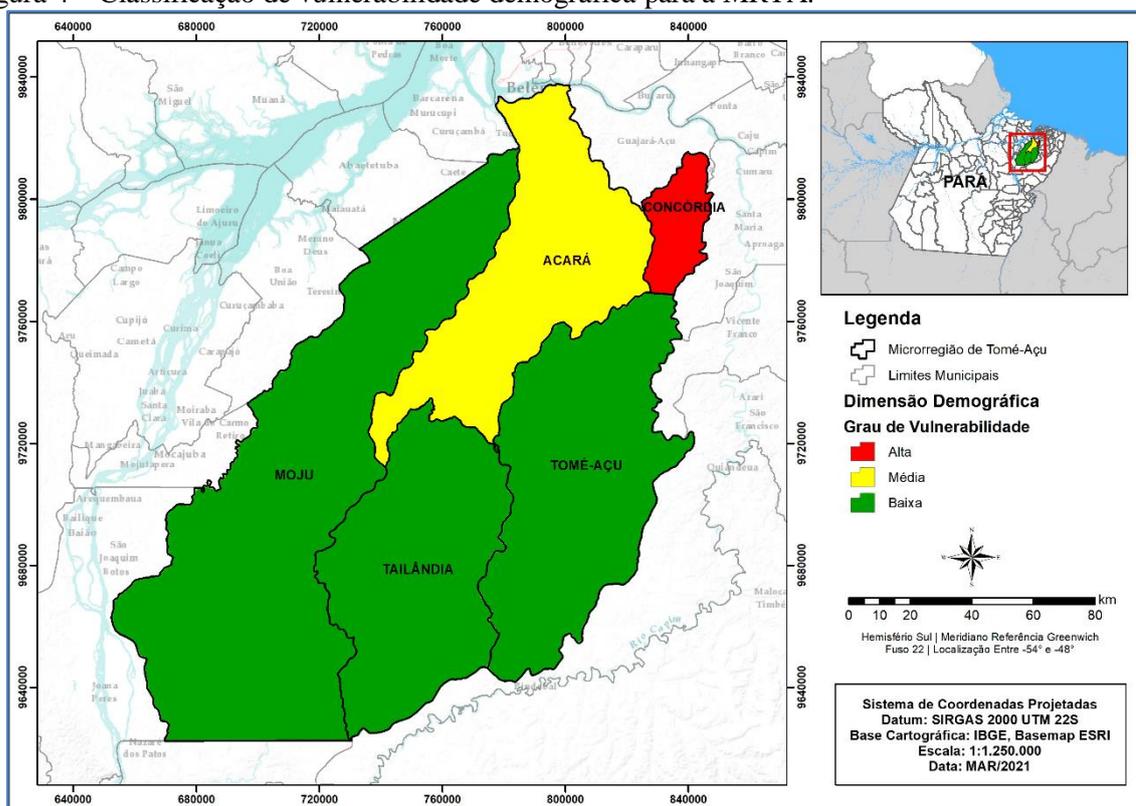
Tailândia possui densidade demográfica de 24 hab./Km<sup>2</sup> e aproximadamente 76% da população concentrada em zonas urbanas, com dispersão de 0 a 10 habitantes (Figura 3) em todo o resto do município, possivelmente, as zonas rurais, o que o classifica sob a condição de baixa vulnerabilidade demográfica à ameaça de fogo (Figura 4).

O município de Acará sofreu pouca variação tanto no aumento populacional como em sua densidade demográfica (Tabela 1). Possui em torno de 76% de sua população residindo em área rural (Gráfico 1), densidade demográfica de 12,80 hab./Km<sup>2</sup> e um adensamento populacional mais expressivo ocupando aproximadamente metade do município (Figura 3). Possivelmente, a classificação de média vulnerabilidade (Figura 4) deve-se ao fato de ser o município da MRTA com maior quantitativo de habitantes na área rural.

O município de Concórdia do Pará possui densidade demográfica elevada, quando comparada aos outros municípios (Tabela 1), com sua população acomodada em um território que representa 2,9% de toda a MRTA, com adensamentos populacionais relativamente bem distribuídos (Figura 3) neste que é o menor município da MRTA e quase metade da população (47%) residindo em zona rural (Gráfico 1). Ao se juntar todos esses fatores demográficos, o município fica sob a classificação de alta vulnerabilidade às ameaças de fogo (Figura 3).

Moju representa 38,36% da MRTA, portanto é o maior município em área territorial dessa microrregião, apresenta densidade demográfica relativamente baixa (9,03 hab./Km<sup>2</sup>) e tem aproximadamente 55% da população residindo em área rural, com distribuição de pessoas variando entre zero a dez, concentradas ao norte do município (Figura 3). Essas três condições mencionadas para o município o classificam sob baixa vulnerabilidade à ameaça de fogo (Figura 4), pois, ainda que a população rural esteja em maior número, a distribuição de pessoas é dispersa.

Figura 4 – Classificação de vulnerabilidade demográfica para a MRTA.



Fonte: Autora.

## 5.1.2 Dimensão social

### 5.1.2.1 Análise da variável: grupo de vulneráveis (Crianças e Idosos)

Em 2010, o número de crianças em todos os municípios da MRTA superava de 3% a 6% o de idosos: Concórdia do Pará, com cerca de 6 mil, Acará e Tomé-açu em torno de 12 mil

e números mais expressivos para Tailândia e Moju, com cerca de 18 e 17 mil, respectivamente. Acerca do número de idosos, os municípios de Acará, Moju e Tomé-açu apresentaram cerca de 3700 cidadãos maiores de 60 anos, cada; Tailândia pouco menos de três mil e Concórdia do Pará com aproximadamente dois mil, cuja somatória das taxas de crianças e idosos são exibidas na Tabela 2.

Observou-se que dos cinco municípios, quatro tiveram pouca variação nas taxas de crianças e idosos, excetuando-se Tailândia, que apresentou uma taxa menor em comparação com os demais. Considerando os valores encontrados para esta variável, as pessoas nessas fases da vida não possuem capacidade de resposta adequada frente a um possível desastre, pois são dependentes de outras pessoas por possuírem mobilidade comprometida e, se a maioria delas for residente na área rural, possivelmente, estariam sob a classificação de média a alta vulnerabilidade a ameaça de fogo e seus derivados pelo fator exposição, com exceção de Tailândia, por possuir a maior parte da população habitando áreas urbanas.

Tabela 2 – Taxa do grupo de vulneráveis (crianças e idosos) da população da MRTA.

<b>Municípios</b>	<b>Número de crianças</b>	<b>Número de idosos</b>	<b>Taxa de crianças e idosos (%)</b>
Acará	12.587	3.691	30,39
Concórdia do Pará	6.481	1.964	29,93
Moju	16.931	3.998	29,89
Tailândia	18.065	2.977	26,54
Tomé-açu	12.973	3.670	29,45

Fonte: Autora.

#### 5.1.2.2 *Análise da variável graus de escolaridade*

Adotou-se apenas três níveis de escolaridade para este trabalho, elencando-os como: baixo (Sem instrução a fundamental incompleto); intermediário (fundamental completo a médio incompleto); elevado (médio completo a superior incompleto). A Tabela 3 exhibe os níveis de escolaridade dos habitantes nos municípios da MRTA, em que Acará apresentou o maior número de pessoas com graus de escolaridade baixos e o menor com graus de escolaridade intermediário e elevado; Tailândia apresentou a maior taxa de pessoas com níveis de escolaridade alta e a menor com níveis de escolaridade baixa; Concórdia do Pará apresentou o segundo maior quantitativo de pessoas com graus de escolaridade mais elevados e intermediários, é segundo menor em escolaridade baixa. Moju e Tomé-açu apresentaram valores similares acerca do quantitativo de pessoas em todos os graus de escolaridade, sendo dominante nesses municípios os graus de escolaridade baixos.

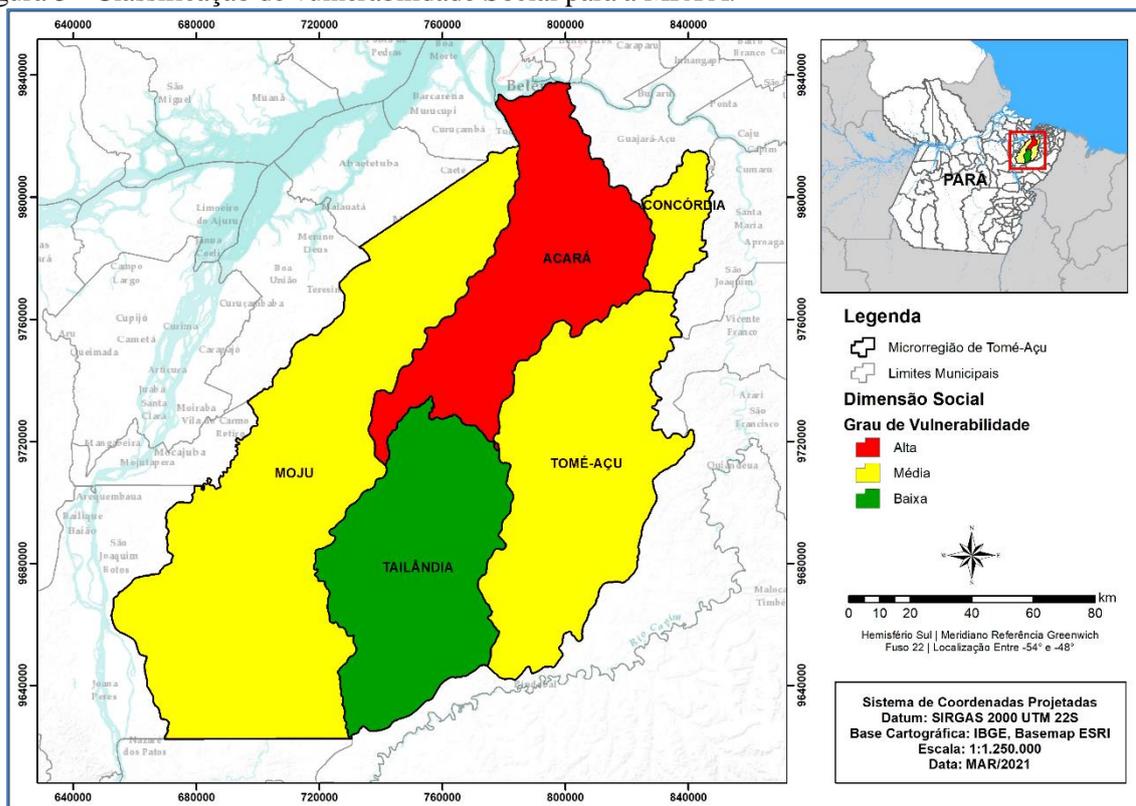
Tabela 3 – Taxas dos níveis de escolaridade da população da MRTA.

<b>Municípios</b>	<b>Sem instrução a fund. Incompleto (%)</b>	<b>Fundamental completo a médio incompleto (%)</b>	<b>Médio completo a Superior incompleto (%)</b>
Acará	62,68	7,96	5,48
Concórdia do Pará	54,41	12,67	9,72
Moju	57,44	10,44	7,98
Tailândia	51,85	14,95	10,02
Tomé-açu	55,55	11,45	7,9

Fonte: Autora.

O município de Acará detém o maior percentual de pessoas com baixa escolaridade e maior taxa (somada) de criança e idosos, que podem ser parâmetros que justifiquem a classificação de alta vulnerabilidade social a ameaça de fogo para este município (Figura 5), apenas considerando as dimensões sociais, pois infere-se que a população tem reduzida criticidade e alguma ou nenhuma capacidade de resposta em caso de desastres envolvendo fogo e seus derivados; Tailândia aparece sob a classificação de baixa vulnerabilidade (Figura 5) justificada por possuir menor taxa (somada) de crianças e idosos e população que, apesar de possuir em torno de 50% de pessoas com níveis de escolaridade baixa, também possui o maior número de pessoas (cerca de 10%) com taxa de escolaridade mais elevada (Tabela 3), quando comparado aos demais municípios, aumentando, teoricamente, a capacidade de resposta e criticidade de uma porção maior da população. Os demais municípios possuem, basicamente, as mesmas taxas para as variáveis idade e escolaridade (Tabela 3), o que os submete à classificação de média vulnerabilidade (Figura 5).

Figura 5 - Classificação de vulnerabilidade Social para a MRTA.

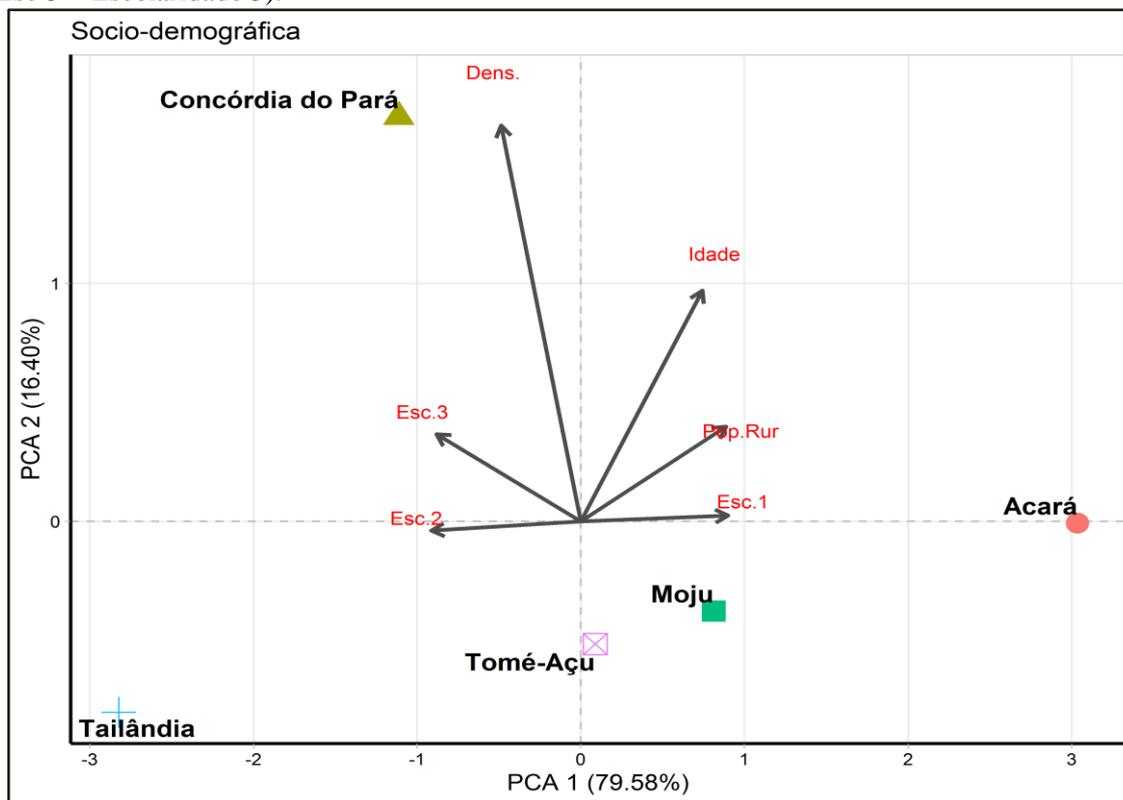


Fonte: Autora.

### 5.1.3 Análise Sociodemográfica da MRTA

O componente principal resultou de uma matriz contendo dados demográficos e sociais, em que os dois primeiros eixos foram selecionados porque explicaram juntos 95,98% da variação total dos dados (Gráfico 2). O primeiro eixo da PCA explicou 79,58% da variação total. O segundo eixo explicou 16,40%, exibindo valores relevantes para densidade demográfica. Os dois primeiros CP resumem de forma efetiva a variância amostral total, podendo ser utilizados para o estudo de conjunto de dados.

Gráfico 2 - Análise de Componentes Principais para variáveis sociodemográficas da MRTA. (Dens. = Densidade demográfica; Pop. Rural = População Rural; Esc. 1 = Escolaridade 1; Esc. 2 = Escolaridade 2; Esc 3 = Escolaridade 3).



Fonte: Autora.

O município de Acará encontra-se associado às variáveis Escolaridade 1 (Sem instrução a fundamental incompleto), população rural e idade (crianças até 10 anos e pessoas maiores de 60 anos) que juntas lhe conferem a classificação de alta vulnerabilidade social e média vulnerabilidade demográfica; Concórdia do Pará sofre maior influência da variável densidade demográfica, faixa etária e influência moderada de Escolaridade 3 (Nível médio completo a superior incompleto), portanto, classifica-se sob média vulnerabilidade social e alta vulnerabilidade demográfica; Moju e Tomé-açu associa-se a Escolaridade 1; Tailândia sofre pouca influência de todas as variáveis, encontrando-se numa zona de baixa vulnerabilidade social e demográfica; Tomé-açu e Moju encontra-se numa zona intermediária associado moderadamente a Escolaridade 2 e 1, que os direciona para média vulnerabilidade social.

#### 5.1.4 Dimensão ambiental

##### 5.1.4.1 Análise da variável Precipitação Pluviométrica

Foram encontradas médias anuais de precipitações para MRTA variando de 1212 mm/m<sup>2</sup> a 3275mm/m<sup>2</sup> (Tabela 4). O município que apresentou as menores médias anuais foi Moju, seguido por Tailândia, quando comparadas às médias dos demais, entretanto, no ano de

2010, Tomé-açu também apresentou média inferior quando comparada a outros anos e, no período compreendido entre 2011 e 2019, Tomé-açu juntamente aos municípios de Acará e Concórdia do Pará, apresentaram durante todo o período estudado grandes volumes de precipitação pluviométrica, com pouca variação durante os anos, o mesmo não ocorrendo com Tailândia e Moju que, apesar de exibir grandes volumes de precipitação pluviométrica, demonstraram variações em suas médias anuais.

Tabela 4 - Médias anuais acumuladas de precipitação pluviométrica dos municípios da MRTA.

PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA (mm/m <sup>2</sup> )					
Anos	Acará	Concórdia do Pará	Moju	Tailândia	Tomé-açu
2010	2545,60	2038,44	1416,20	1965,30	1851,85
2011	2955,30	2609,82	1804,55	2766,90	3275,05
2012	2331,45	2336,48	1212,05	1891,70	2467,05
2013	2603,15	2514,10	1520,70	2384,10	2570,40
2014	2901,95	2879,22	2190,45	2048,90	2139,65
2015	2877,55	2203,79	1794,05	1932,10	2020,30
2016	2525,75	2294,37	1364,60	1874,20	2169,40
2017	2741,60	2595,47	2415,65	2478,60	2502,70
2018	3204,50	2600,66	2356,00	2826,90	2651,10
2019	2861,75	2967,56	1821,75	2279,10	2645,00
Média	2754,86	2503,99	1789,60	2244,78	2429,25

Fonte: Autora.

#### 5.1.4.2 Análise do número de Focos de calor e Densidade de Kernel

O total de focos de calor na MRTA entre 2010 e 2019 foi de 20571 e o município que liderou o *ranking* foi Moju, com 8001 (38,89%), seguido por Acará, com 6387(31,04%), Tomé-açu, com 2695 (13,10%), Tailândia, com 2233 (10,86%) e Concórdia do Pará, com 1255 (6,10%).

Em 2010, Acará, Moju, Tailândia e Tomé-açu apresentavam 869, 965, 313 e 389 focos respectivamente (Gráfico 3) com redução, em média, de 30% no ano seguinte, possivelmente devido ao evento climático conhecido como *La Nina*, que eleva o volume de chuvas na região amazônica e contribui para a redução de número de focos de calor. Este evento climático começou a se desenvolver em meados de agosto de 2010, após o término do *El Nino*, e se estendeu até abril de 2011 (CPC, 2021).

Em Concórdia do Pará, o número de focos de calor aumentou em 33 % entre 2010 e 2011, passando de 112 para 149 focos, que ainda pode ser justificado pelo evento climático *El Niño* de intensidade moderada, que reduz a taxa de precipitação pluviométrica e umidade,

propiciando a elevação do número de focos de calor (Gráfico 3) ou pela intensa pressão que empresas dendeicultoras fizeram neste período (SANTANA, 2010).

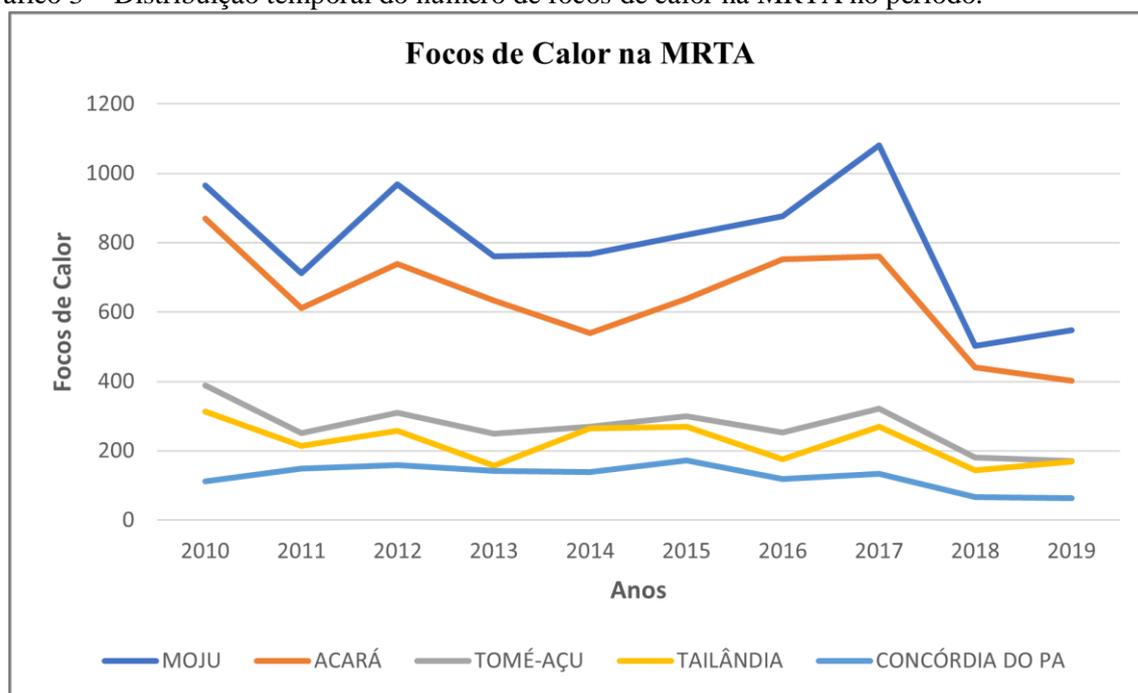
Foi observado nos municípios de Acará e Moju, entre 2014 e 2016, aumento considerável do número de focos de calor, embora não se tenha observado na MRTA, redução considerável no regime de chuvas (Tabela 4); os três municípios restantes (Concórdia do Pará, Tailândia e Tomé-açu) mantiveram seus números de focos de calor estáveis até 2015, decrescendo em 2016. Por outro lado, todos os municípios sofreram elevação abrupta em 2017. e, no ano seguinte, brusca redução de 53,56%, 42,04%, 43,8%, 47,03% e 50,74% para os municípios de Moju, Acará, Tomé-açu, Tailândia e Concórdia do Pará, respectivamente.

Tailândia, após a operação conhecida como “Arco de Fogo”, em 2008, mostrou significativa queda no número de focos de calor e, em 2013, deteve o menor índice de queimadas após a intervenção do Estado, crescendo até 2014 (FIGUEIREDO; COSTA; TAVARES, 2015), mantendo esses números estáveis até 2015.

Em 2018, nota-se um decréscimo no número de focos de calor que pode ter sido em função de investimentos do governo federal em planejamento e monitoramento ambiental. Em 2019, Moju e Tailândia mostraram sensível aumento no número de focos de calor, o que pode ter sido provocado por redução de volume de chuva (Tabela 4), associados a outros elementos climáticos e motivações políticas (incentivo ao desmatamento por parte do governo, desqualificação de órgãos públicos responsáveis pelo monitoramento de queimadas).

Ressalta-se que os efeitos dos eventos climáticos conhecidos como *El Nino* e *La Nina* podem ser atenuados por outro evento climático/ atmosférico que ocorre no oceano Atlântico Tropical, o Dipolo do Atlântico, influenciando a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e esta, no regime de precipitação pluviométrica (REBOITA; SANTOS, 2015), o que pode justificar anos de ocorrência de *El Niño*, com presença abundante de chuvas na MRTA.

Gráfico 3 – Distribuição temporal do número de focos de calor na MRTA no período.



Fonte: Autora.

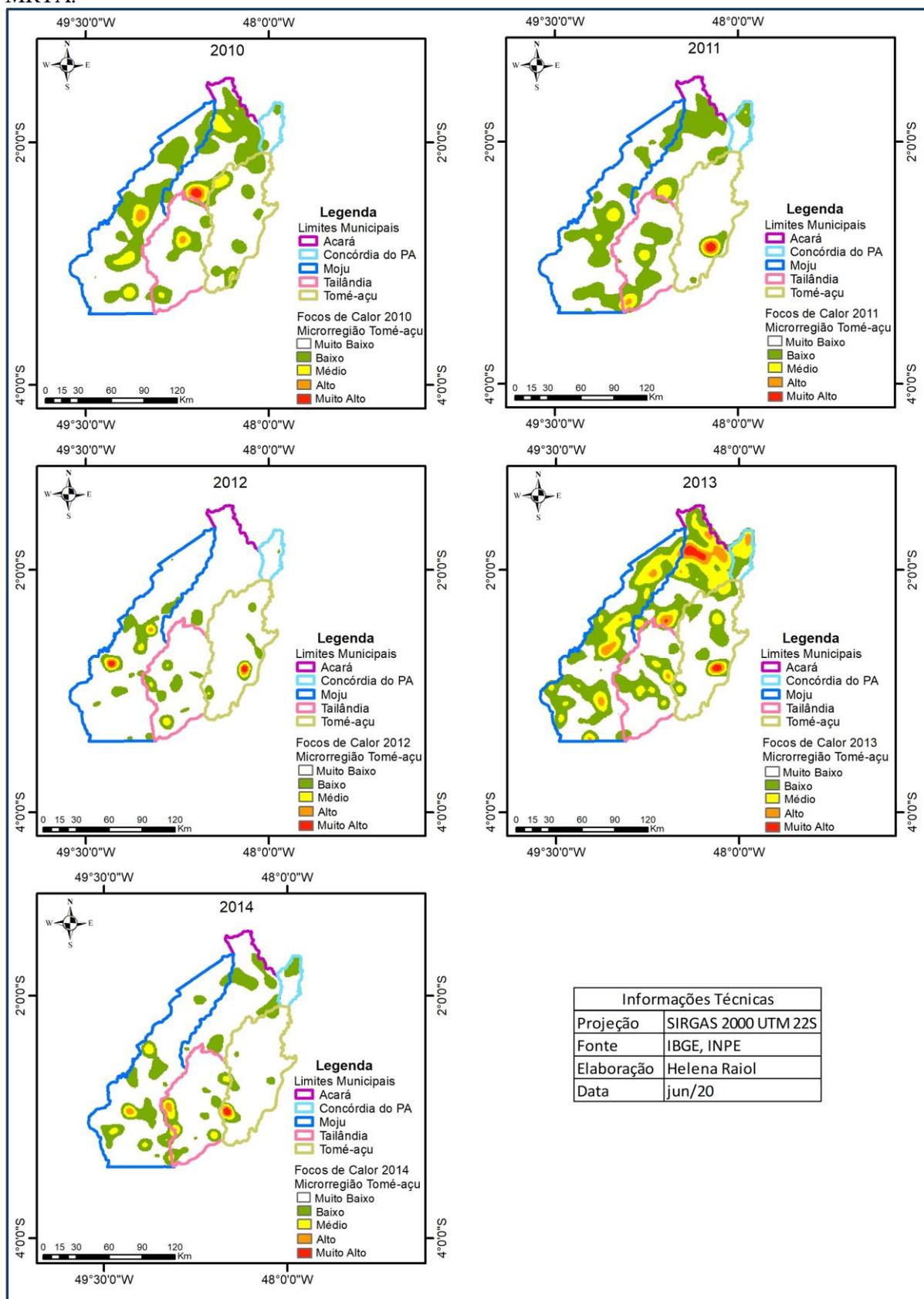
Os mapas de Kernel (Figura 6 e Figura 7) indicam a dispersão de focos de calor em toda a área de estudo e, ao visualizá-los, conclui-se que esses focos não seguem um padrão, variando de ano para ano e de acordo com os locais de incidência.

Em 2010, 2011, 2013, 2016 e 2019 observa-se em toda a MRTA, maior adensamento de focos de calor representando todas as classes de vulnerabilidade (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta); já em 2012, 2014, 2015 e 2017, percebe-se uma maior distribuição (especialização) com menor presença de densidades de focos de calor sobre a MRTA, embora, ainda representando todas as classes.

Percebeu-se uma atipicidade relacionada ao ano de 2018, em que se observou densidade de classe muito baixa, que dominaria 100% da MRTA, se não fosse por duas pequenas “manchas” representando as classes baixa e muito alta, ocorrendo sobre o limite municipal Tailândia/ Moju e em Tomé-açu. A ausência de maior adensamento de focos de calor em 2018 pode ter sido causada por incentivos do governo federal, como já mencionado anteriormente.

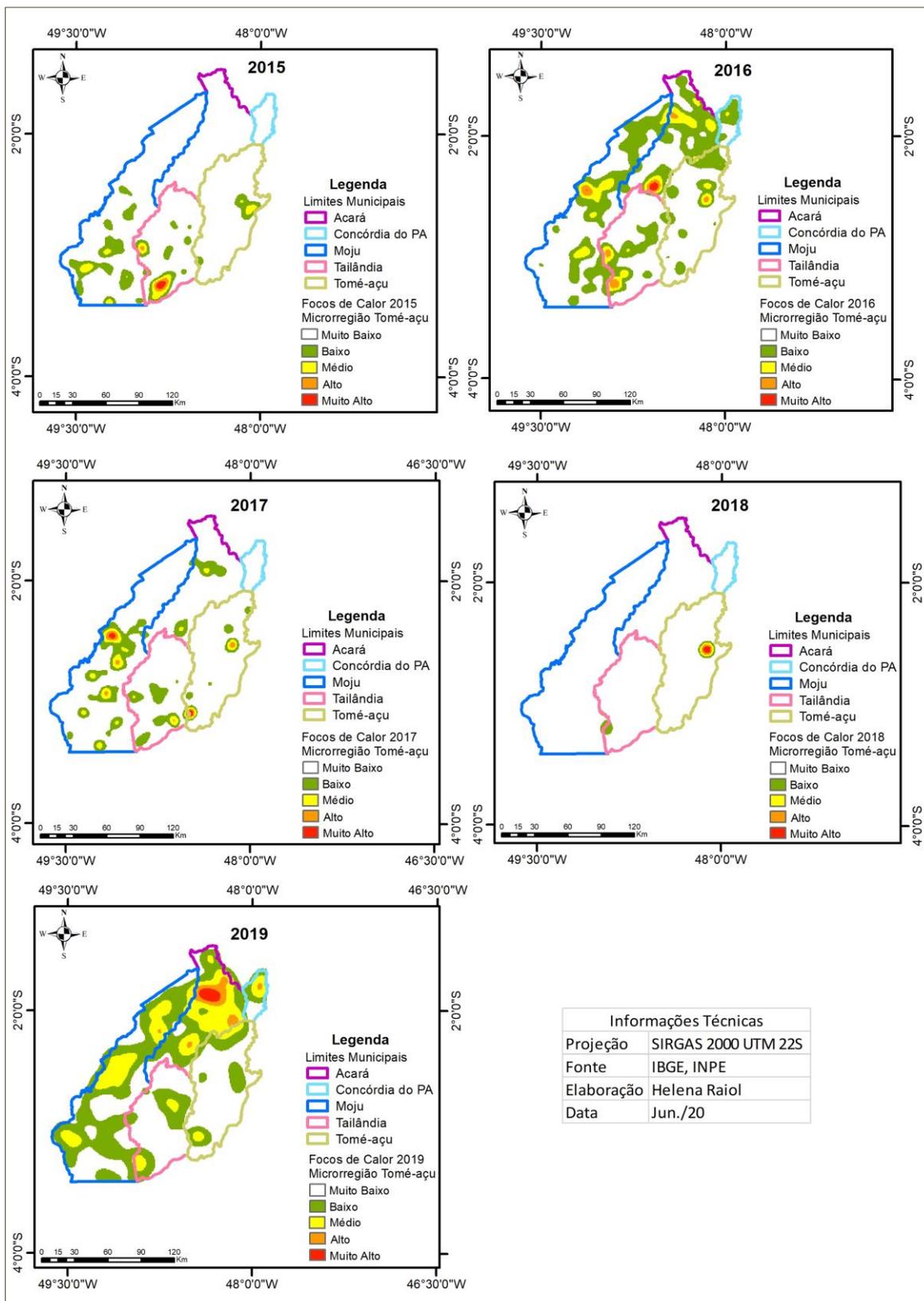
Os municípios que exibem densidades de classificação de vulnerabilidade média a muito alta são Acará, Tailândia, Moju e Tomé-açu. Somente em 2018 Acará e Moju não se inserem nesta situação. Em Concórdia do Pará, nos anos de 2011, 2013, 2016 e 2019, observou-se densidades de classes média a alta, período representando maior ameaça de fogo neste município, em função dessas densidades detectadas.

Figura 6 - Densidade de focos de calor distribuídos temporal (2010 a 2014) e espacialmente na MRTA.



Fonte: Autora.

Figura 7 - Densidade de focos de calor distribuídos temporal (2015 a 2019) e espacialmente na MRTA.

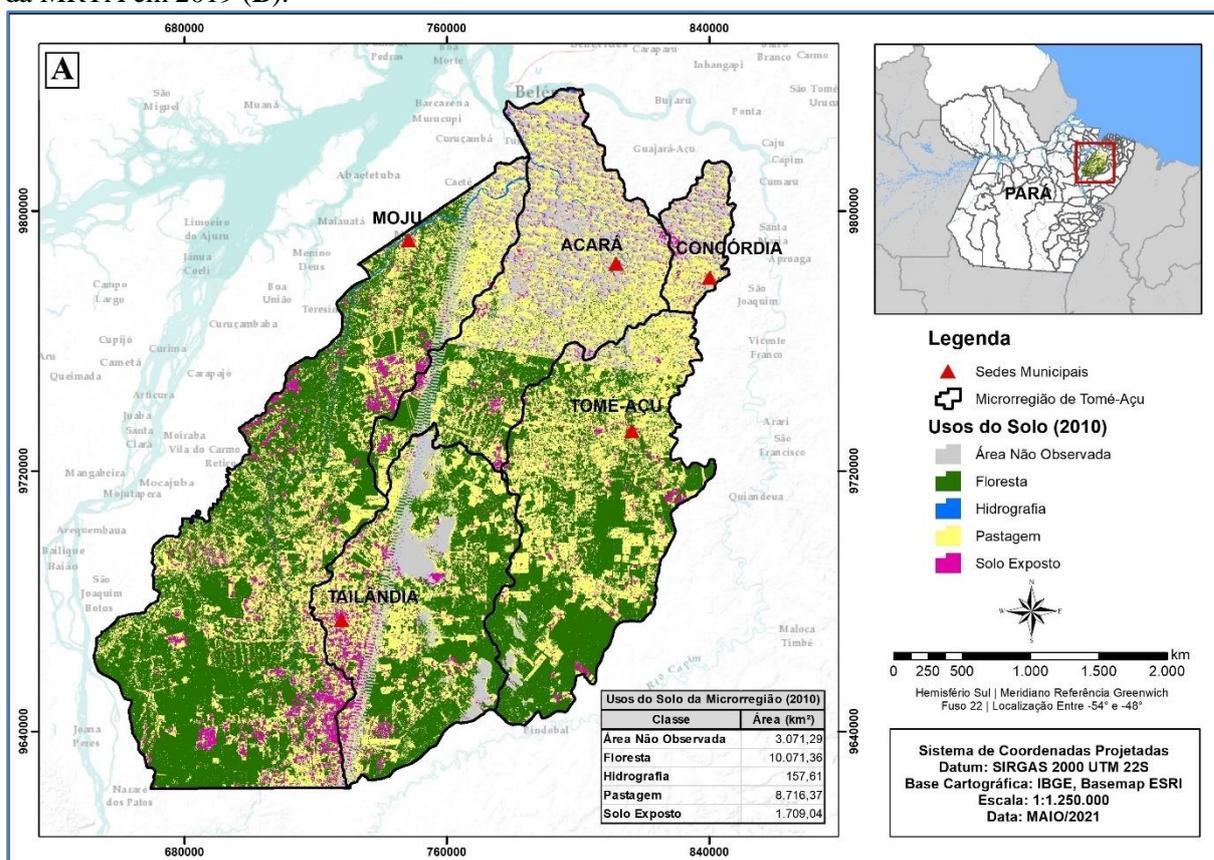


Fonte: Autora.

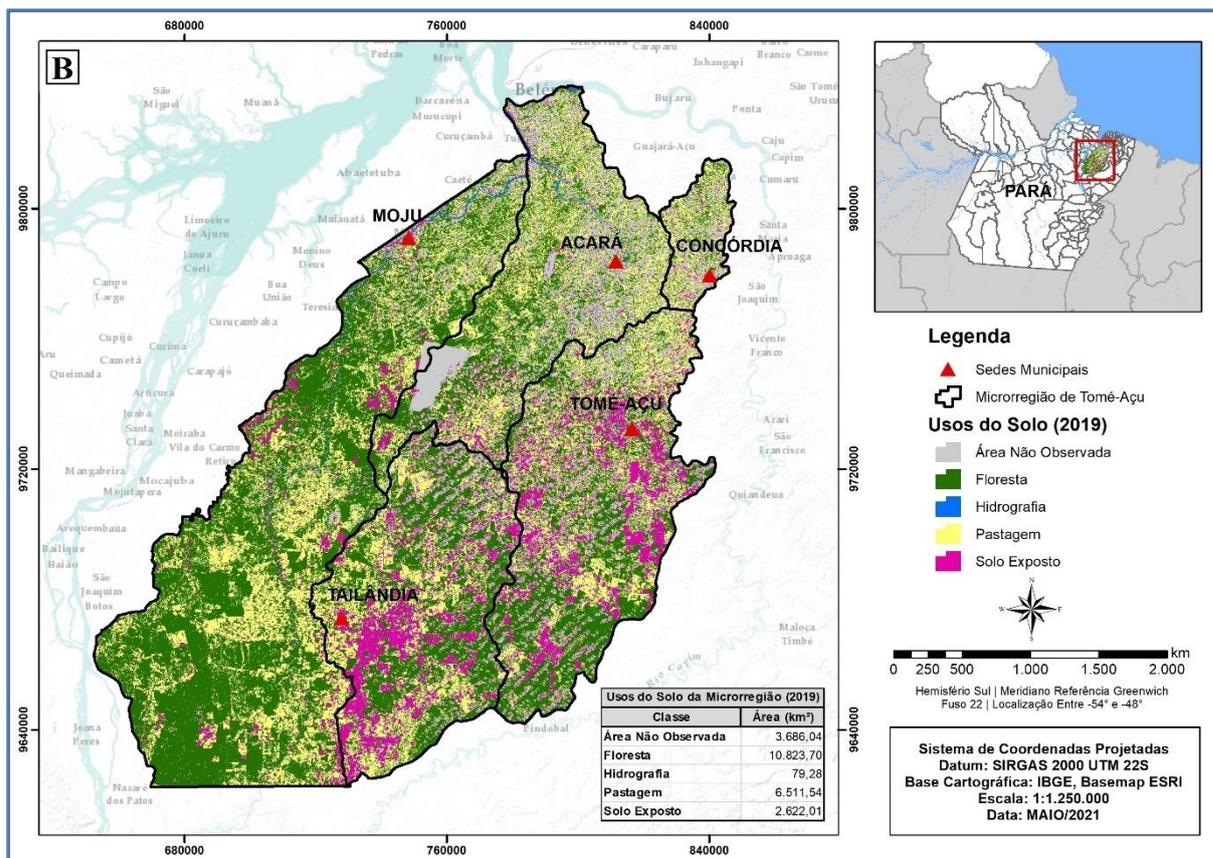
### 5.1.4.3 Análise Comparativa do uso do solo

Na área de estudo, o uso da terra está representado pelas seguintes classes: florestas (primárias, secundárias e em regeneração), pastagens e área agricultável. Assim, a pesquisa realizada nos municípios demonstrou a alteração sofrida em seus parâmetros naturais ao longo de dez anos (Figura 8A e 8B) correspondente aos anos de 2010 e 2019, respectivamente. Percebe-se a transformação da vegetação primária, após intervenção antrópica, em fragmentos florestais, áreas de agricultura, pastagens, solo exposto e provocando alterações na hidrografia local.

Figura 8: Paisagem da MRTA relacionada ao uso do Solo em 2010 (A); Alterações percebidas no Solo da MRTA em 2019 (B).



Fonte: Autora.



Fonte: Autora.

As relações percentuais encontradas para as classes de uso do solo e hidrografia da região, comparando a realidade do cenário de 2010 e de 2019 (Tabela 5), denotam que as áreas urbanas sofreram acréscimo pouco perceptível, salvo em Concórdia do Pará (0,11%), sugerindo a existência da força de trabalho concentrada em zonas rurais. As áreas de florestas (primária e secundária), abrangendo também as plantações de dendê e de outras culturas, tiveram acréscimo nos municípios de Acará, Concórdia do Pará e Moju, possivelmente atribuído aos plantios de dendê e outras lavouras, porém decresceram em Tailândia e Tomé-açu, supostamente por ocasião de presença marcante de solo exposto nesses municípios (Figura 8B). Áreas de pastagens registraram acréscimo em Concórdia do Pará, talvez ocasionadas pela interferência da exclusão dos dados de áreas não observadas e de solo exposto no cálculo final. Em Moju, esse aumento está supostamente relacionado a atividade de bovinocultura (LIMA; SILVEIRA; FRANÇA, 2015); permaneceu inalterada em Tailândia e reduziu em Acará e Tomé-açu, talvez, porque essas áreas tenham sido substituídas por solo exposto. A área relacionada a hidrografia sofreu redução em todos os municípios, sendo mais acentuada em Tailândia (0,17%), Acará (0,17%) e Moju (0,12%), provavelmente, por esses municípios terem sido alvos de severas interferências antrópicas. O processo de ocupação associado ao desmatamento seletivo, atividade agrícola e a pecuária altera as áreas de florestas primárias e secundárias, prejudicando

matas ciliares, nascentes e interferindo na qualidade da água (MIRANDA et al., 2016), acarretando o assoreamento dos rios.

Tabela 5 – Dados percentuais exibindo a evolução do uso do solo e hidrografia na MRTA (2010 e 2019).

Municípios	Área urbana (%)		Floresta (%)		Pastagem (%)		Hidrografia (%)	
	2010	2019	2010	2019	2010	2019	2010	2019
Acará	0,04	0,05	32,31	34,16	29,36	28,75	0,86	0,69
Concórdia do PA	0,44	0,55	14,11	23,63	31,01	35,49	0,02	0,02
Moju	0,04	0,05	58,21	59,37	22,10	29,17	0,62	0,50
Tailândia	0,22	0,27	44,45	40,97	26,15	26,14	0,21	0,04
Tomé-açu	0,17	0,21	52,52	38,14	33,91	23,44	0,05	0,04

Fonte: Autora.

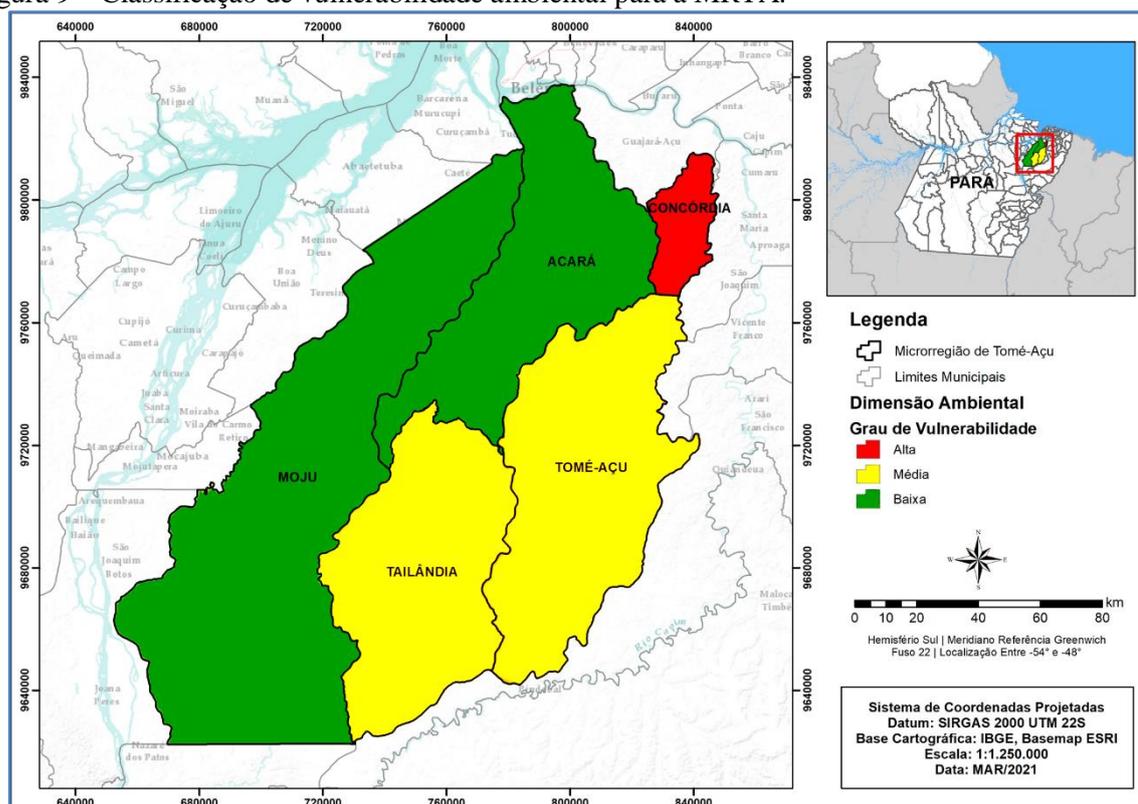
Acerca da taxa de área das classes, obteve-se o seguinte resultado, considerando o último cenário desta pesquisa o ano de 2019: as áreas de floresta dominam quatro dos cinco municípios da MRTA e representavam aproximadamente 34%, 60%, 41% e 38% de Acará, Moju, Tailândia e Tomé-açu, respectivamente. Em Concórdia do Pará, a área de floresta representava cerca de 24% do município e, pastagens, aproximadamente 35%, seguido por Acará e Moju, que têm em torno de 29% de suas áreas ocupadas por pastagens, Tailândia, com 26% e Tomé-açu, com 23%. O maior percentual de área urbana fica em Concórdia do Pará (0,55%), seguido por Tailândia (0,27%), Tomé-açu (0,21%), Acará e Moju, ambos com 0,05% de área urbana. Sobre a hidrografia local, o município com maior representatividade foi Acará (0,69%), seguido por Moju (0,5%), Tailândia e Tomé-açu (ambos com 0,04%) e Concórdia do Pará (0,02%) (Tabela 5).

Classificados sob baixa vulnerabilidade ambiental à ameaça de fogo estão Moju e Acará, que tiveram períodos críticos de focos de calor em 2010, 2012 e 2017, entretanto, mantiveram esses números de focos em descensão ou com sensível ascensão em 2019 (Gráfico 3), porém, possuem boa representação hidrográfica (0,50% e 0,69%, respectivamente) e predomínio das florestas em seus territórios (Tabela 5), o que supostamente define a classificação de suas vulnerabilidades.

Classificados sob a condição de vulnerabilidade média a ameaça de fogo (Figura 9), encontram-se os municípios de Tailândia e Tomé-açu que mesmo com muitos focos de calor ao longo de dez anos (Figura 6 e Figura 7) e pouca representatividade hidrográfica, ainda possuem boa representatividade de florestas (40%) e os menores percentuais em pastagens (Tabela 5).

Concórdia do Pará exibiu densidades de focos de calor expressivos em 2013, 2016 e 2019 (Figura 6 e Figura 7); cerca de 35% de seu território ocupado por pastagens em detrimento de 24% de florestas e a menor rede hidrográfica da MRTA (Tabela 5) o que, possivelmente, determinou a alta vulnerabilidade ambiental a ameaça de fogo deste município (Figura 9), uma vez que em caso de desastres envolvendo fogo, a rede hidrográfica seria insuficiente para funcionar como ferramenta de resposta diante do desastre.

Figura 9 – Classificação de vulnerabilidade ambiental para a MRTA.

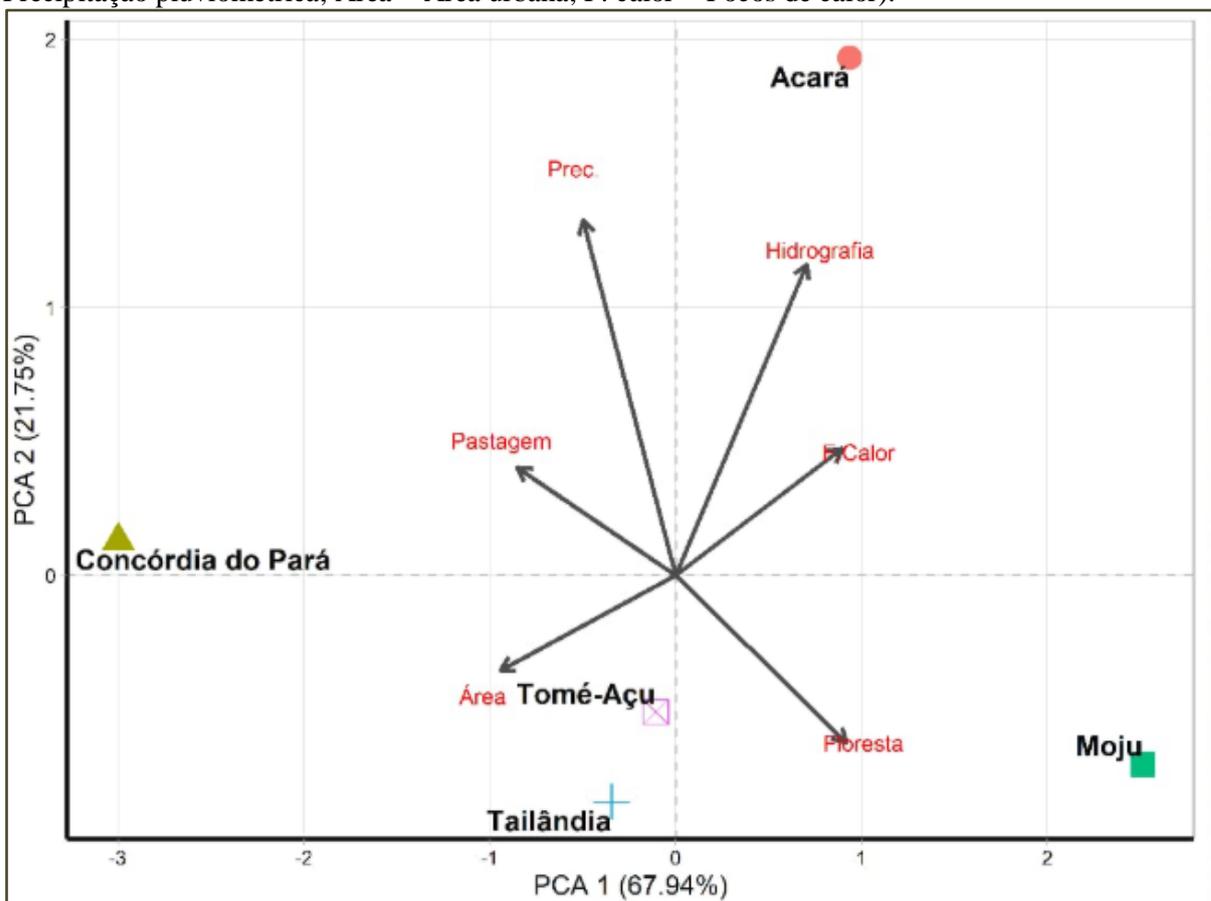


Fonte: Autora.

### 5.1.5 Análise do Componente Principal (PCA) – dimensão Ambiental

Com base nos resultados da análise de PCA, os dois primeiros componentes principais (CP) foram responsáveis por explicar juntos 89,69 % da variação total das variáveis ambientais (Gráfico 4). O primeiro eixo da PCA explicou 67,94% da variação total; o segundo eixo 21,75% da variação total dos dados.

Gráfico 4 - Análise de Componentes Principais para variáveis ambientais da MRTA. (Prec. = Precipitação pluviométrica; Área = Área urbana; F. calor = Focos de calor).



Fonte: Autora.

O município de Acará aparece mais associado à variável hidrografia e precipitação pluviométrica (baixa vulnerabilidade ambiental à ameaça de fogo); Concórdia do Pará sofre influência das variáveis Área urbana e pastagem (alta vulnerabilidade ambiental); Moju se encontra bem associado à variável floresta que se relaciona negativamente com pastagem (baixa vulnerabilidade); Tailândia e Tomé-açu associam-se às variáveis área urbana e floresta (média vulnerabilidade).

## 5.2 Construção dos Mapas

### 5.2.1 Vulnerabilidade socioambiental

O resultado do mapa de indicador de vulnerabilidade socioambiental da MRTA à ameaça de fogo, apresenta os municípios de Moju, Tailândia e Tomé-açu sob a classificação baixa para o indicador vulnerabilidade socioambiental; Acará sob classificação média para o indicador de vulnerabilidade socioambiental e Concórdia do Pará, sob classificação alta para o indicador de vulnerabilidade socioambiental (Figura 10).

O município de Tailândia divide-se em áreas de floresta (40,97%), pastagens (26,14%), 223,3 focos de calor em média e 0,04% de área hidrográfica, média anual de precipitação pluviométrica em torno de 2.200mm/m<sup>2</sup>. Possuía densidade demográfica relativamente alta (24 hab./km<sup>2</sup>); população rural três vezes menor que a urbana, ressaltando que este trabalho considera a população rural mais vulnerável em virtude da maior exposição à vegetação mais suscetível ao fogo (gramíneas). Dentre os municípios da MRTA, possui população com menor taxa de níveis de escolaridade baixa e a maior taxa de escolaridade mais elevada; menor taxa (somada) de idosos e crianças, portanto, embora as condições ambientais possuam variáveis desfavoráveis, a condição social da população que, neste caso, apresenta maior criticidade e capacidade de resposta, colabora para a construção de um indicador de baixa vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo (Figura 10).

Tomé-açu apresenta cerca de 38% de áreas de floresta, pastagem (cerca de 23%) e pequena disponibilidade de área referente a hidrologia local (0,04%); apresentou 269,5 focos de calor em média; volume de chuvas variando de 1.851,85 a 3.275,05mm/m<sup>2</sup> no período do estudo. Exibiu densidade demográfica de 12,33 hab./km<sup>2</sup>, concentrada em áreas urbanas, com população rural menor que a urbana, reduzindo a exposição dessa população ao perigo representado pelo fogo; possui em torno de 30% da população representando crianças e idosos; cerca de 56% dessa população possui níveis de escolaridade baixo (sem instrução a fundamental incompleto) e em torno de 8% da população com nível médio completo a superior incompleto, onde a criticidade e capacidade de resposta ficam comprometidas, portanto, embora as condições sociais possuam variáveis desfavoráveis, a condição ambiental sugere um indicador de baixa vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo (Figura 10), pois, segundo o relatório da FAPESPA (2016), ao longo das margens dos rios e seus afluentes, há existência de florestas ombrófilas.

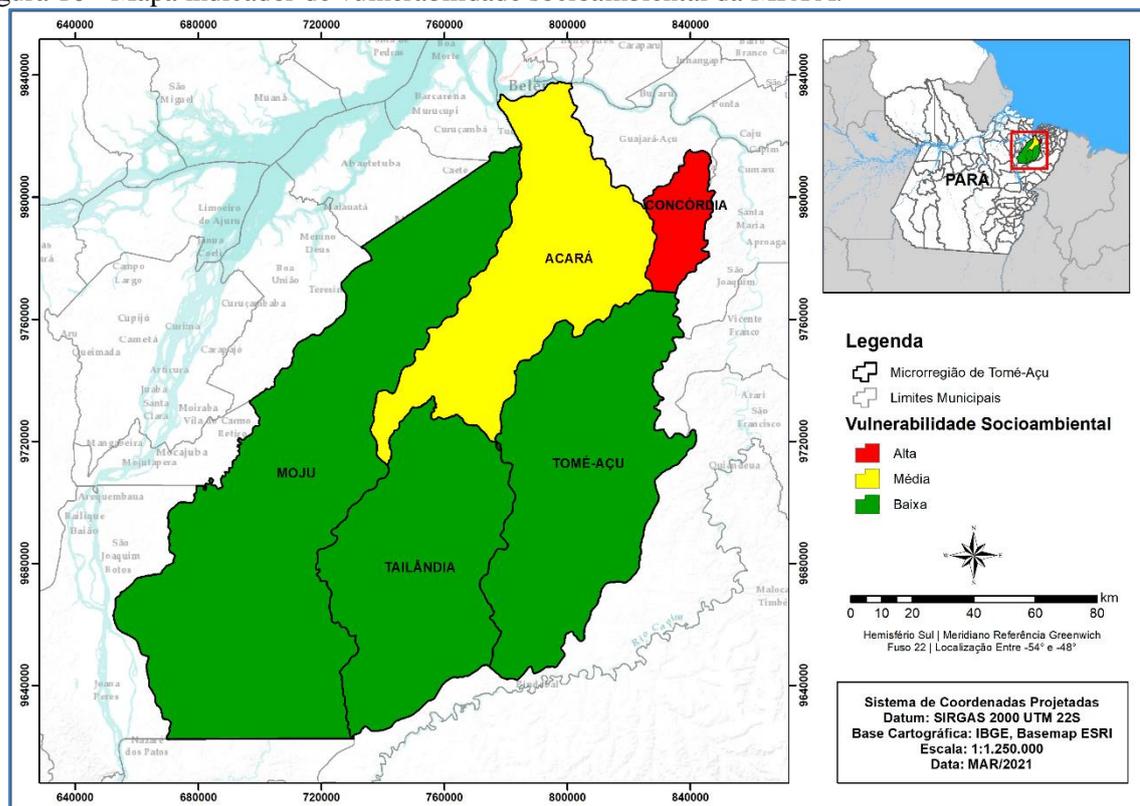
Moju apresenta áreas de floresta (cerca de 60%), pastagem (cerca de 29%) e a segunda maior área hidrológica da MRTA (0,5%), cujo principal representante é o rio Moju; apresentou a média anual de 800,1 focos de calor; volume de chuvas variando no intervalo de 1.220 a 2.500mm/m<sup>2</sup> no período analisado; possui a menor densidade demográfica da MRTA (9,03 hab./km<sup>2</sup>), com população rural maior que a urbana, distribuída no maior município, em área, da MRTA; possui cerca de 30% da população composta por crianças e idosos; é o segundo município da região, cuja população possui os menores níveis de escolaridade (57,44%) e 8% da população com nível médio completo a superior incompleto, o que confere a essa população baixa capacidade de resposta e, embora algumas variáveis sociais contribuam para elevar a classificação do indicador de vulnerabilidade socioambiental, as variáveis ambientais e de

densidade demográfica colaboram para a construção do indicador de baixa vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo (Figura 10).

Acará possui 34,16% de floresta e 28,75% de pastagens e possui a maior rede hidrográfica da MRTA (0,69%), apresentou nuvens de densidade de focos de calor de todas em sete dos dez anos do período analisado, com média anual de 638,7 focos de calor e volume médio anual de chuvas em torno de 2.750 mm/m<sup>2</sup>; possui densidade demográfica de 12,8 hab./Km<sup>2</sup> e cerca de 76% da população residindo em zona rural, o que poderia elevar o grau de exposição dessa população ao perigo do fogo, apresentou taxa de crianças e idosos sensivelmente maior que a dos outros municípios (30,39%), é o município da MRTA que lidera a taxa de escolaridade mais baixa (cerca de 63%) e apresenta a menor taxa de pessoas com escolaridade mais elevada (cerca de 5,5%), então, se de um lado algumas variáveis ambientais direcionam Acará para baixa vulnerabilidade ambiental, do outro, variáveis sociais elevam essa condição, pois se constitui da maioria das pessoas que, teoricamente, não possuem criticidade nem capacidade de resposta diante do perigo, direcionando este município para a construção de indicador de média vulnerabilidade a ameaça de fogo (Figura 10).

O município de Concórdia do Pará apresenta 23,63% de floresta, cerca de 35% de pastagem, média anual de 125,5 focos de calor e a menor rede hidrográfica da MRTA (0,02%), com área territorial correspondendo a 2,9% da MRTA, portanto o menor município; com densidade de focos de calor de risco médio a alto nos anos de 2013, 2016 e 2019; precipitação média anual de 2504 mm/m<sup>2</sup>; apresentava a maior densidade demográfica da região (47,58 hab./Km<sup>2</sup>), população rural (46%) equiparada a urbana (54%). Possui valores similares aos outros municípios no tocante ao quantitativo de crianças e idosos (cerca de 30%) e 54,41% da população com níveis de escolaridade baixos, observando-se a maior exposição da população ao perigo do fogo, uma vez que há alta vulnerabilidade ambiental e social. Assim, esses dados associados convergem para a construção do mapa indicador de alta vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo (Figura 10).

Figura 10 - Mapa indicador de vulnerabilidade socioambiental da MRTA.



Fonte: Autora.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 Panorama geral da microrregião Tomé-açu

A mesorregião Nordeste paraense é a mais antiga em termos de colonização da Amazônia (CORDEIRO et al., 2017), condizente com o incremento populacional de 18,49% encontrado durante o período estudado, pois é uma das mesorregiões que possui relevantes atividades econômicas como: extrativismo, pecuária e a agricultura em larga escala (SANTOS, SILVA; GUIMARÃES, 2020).

Muitos agricultores dessa região ainda praticam a agricultura de modo tradicional, pois, a prática de queima no meio rural é muito comum, principalmente quando se trata de eliminação de restos de vegetais mortos e por acreditarem que o pós-queima contribui com a elevação de nutrientes no solo (DICK et al., 2008).

Por vezes, tal prática extrapola os limites das propriedades rurais e atingem áreas do entorno, provavelmente, fazendo com que a mesorregião nordeste paraense despontasse como uma das mesorregiões que mais apresentaram focos de calor entre 2005 e 2015 (SANTOS, SILVA; GUIMARÃES, 2020). Essa prática expõe ao perigo de incêndios florestais, grandes áreas e os moradores de seus entornos, reiterando o que afirma Nandy et al. (2015), que quanto maior o número de mudanças no uso do solo mais vulnerável está o ambiente natural.

Ainda que algumas culturas anuais resistam ou se adaptem a implantação do dendê, em parte, o desenvolvimento da MRTA está atrelada à instalação das empresas dendeicultoras que encontraram ótimas condições climáticas, legislação de incentivo à expansão do plantio, apoio de entidades públicas e privadas que ofereciam suporte financeiro e técnico convergindo para que os municípios de Tailândia (27,26% da produção total), Concórdia do Pará (14,45%), Acará (13,12%), Tomé-açu (10,70%) e Moju (9,50% da produção total) liderassem o ranking da produção dessa lavoura no estado do Pará (IBGE, 2017; SILVA; NAVEGANTES-ALVES, 2017).

No entanto, essa lavoura não responde pelo expressivo número de focos de calor observados na MRTA em 2010, 2011, 2013, 2016 e 2019, podendo estar relacionados à presença de fenômenos climáticos (*El Niño*, *La Niña*, Dipolo do Atlântico), que contribuem para o prolongamento dos meses de estiagem e, aliado à susceptibilidade da vegetação e à opção do homem em atear fogo, provocam o surgimento de focos de calor.

Analisando as situações referentes a cada município, Xavier e Xavier (2007) afirmam que os períodos com menor intensidade de precipitação aliados a forma de manuseio da terra, podem ser a causa principal dos surgimentos de focos de calor. No entanto, esses períodos mais

secos podem estar associados a intensidade do fenômeno “*El Niño*” ou a outro fenômeno conhecido como dipolo do Atlântico, que se refere a anomalias da TSM sobre o oceano Atlântico tropical.

As ocorrências desses fenômenos e suas intensidades estão assim dispostos: *El Niño* de intensidade moderada, severa e fraca em 2010, 2016 e 2019, respectivamente; em 2011, a presença de *La Niña* moderado e em 2013, neutro, segundo dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), explicando, parcialmente, os resultados encontrados neste trabalho.

Trata-se de uma região com elevados volumes de precipitação pluviométrica, pois localiza-se sobre a bacia hidrográfica do rio Acará que está relacionada ao conjunto de sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e à forte convecção local pertinente às linhas de instabilidade originadas pela proximidade com a região litorânea (ALBUQUERQUE et al., 2010), o que explica as elevadas médias (mensais e anuais) encontradas nesta pesquisa.

Ainda assim, possui regime de chuvas reduzido (estiagem) a partir de meados de junho até meados de dezembro, quando é possível notar maior quantidade de focos de calor (Gráficos 6, 7, 8, 9, e 10). Essa assertiva é confirmada por Fernandes et al. (2018), quando pesquisaram o município de Parauapebas entre 2011 e 2016 e encontraram indícios suficientemente fortes para reconhecer que existe estreita relação entre redução de chuvas e elevação de risco de queimadas, a partir da observação do número de focos de calor.

Por outro lado, Longo (2010), afirma que o surgimento de focos de calor, mesmo com elevados volumes de precipitação pluviométrica, pode não estar atrelado especificamente às causas climáticas e, sim, às causas econômicas e culturais, que mesclam a decisão de queimar a vegetação e condições atmosféricas favoráveis. Tal comportamento também foi observado no município de Ipixuna - PA por Teixeira e Matta (2020), que afirmam que tal situação deve-se ao avanço do desmatamento ilegal.

No outro extremo, observa-se que ao se analisar a microrregião como um todo, nos anos 2018 houve uma redução no número de focos de calor justificado parcialmente pela elevação atípica do regime de precipitação na região durante os anos citados, como comentado por Teixeira e Matta (2020) sobre o ano de 2018 para o município de Ipixuna do Pará.

As características ambientais dos municípios da MRTA podem apresentar baixa vulnerabilidade ambiental à ameaça de fogo, dependendo do município em que estão localizados, uma vez que, Silva e Navegantes-Alves (2017) retratam que em Moju, Tailândia e Tomé-açu, municípios atingidos pela operação “Arco de Fogo”, cujo objetivo era reduzir o uso

do fogo, possuíam muitos agricultores que encontraram na dendeicultura a solução para continuarem sua produção e receberam todo o aporte necessário para que a prática de queima fosse abolida, ressaltando que muitas áreas degradadas e pastagens foram substituídas por plantios de dendê.

Por outro lado, a oferta de trabalho na colheita de cachos de dendê atrai mão-de-obra de outras regiões, contribuindo para o aumento da densidade demográfica na MRTA (SILVA; NAVEGANTES-ALVES, 2017) e, conseqüente aumento da população rural. Esse acréscimo, em grande parte, é de pessoas com baixo grau de escolaridade que se somam às pessoas na mesma situação escolar e a grupos de vulneráveis (crianças e idosos) já existentes.

Todos os elementos sociais e demográficos acima expostos estão presentes em todos os municípios da MRTA, com raras exceções, o que os impele para uma condição de alta vulnerabilidade social, pois falta na população criticidade para avaliar as possíveis ameaças e capacidade de resposta para reagir diante de desastres.

Diante do cenário atual, é necessário envidar esforços para melhorar a educação e capacitação direcionada à prevenção de riscos de desastres, construir ações para o desenvolvimento e para a vida, pois, ao se potencializar os níveis de educação e organização na comunidade, potencializa-se sua capacidade de prevenir, reduzir, mitigar fatores de risco e para se recuperar dos efeitos de desastres desencadeados por fenômenos naturais ou humanos (D'AYALA et al., 2020).

Corroborando a assertiva anterior, o artigo nº 8 da Política Nacional de Educação Ambiental estabelece que as atividades ligadas à Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) devem ser desenvolvidas na educação em geral e na educação escolar, abrangendo assim, a educação básica, o ensino superior, educação ambiental em organizações não governamentais, em unidades de conservação, na gestão ambiental e nas tomadas de decisões quanto a problemas de degradação ambiental (BRASIL, 1999).

O crescimento exponencial da população urbana atrelado ao aumento de diferentes tipos de riscos urbanos (natural, tecnológico ou misto) e à deterioração dos ecossistemas causados por ação antrópica, tornam as parcerias com os governos, necessárias e urgentes, no sentido de criar ações concretas para beneficiar a sociedade, onde essas ações emergem do conhecimento bem consolidado. Assim, ao se analisar as situações acima mencionadas, fica claro seus efeitos e danos cada vez mais visíveis (FREITAS; CUNHA, 2013) e, nesse contexto, irrompe-se uma extrema necessidade de desenvolver estudos voltados à vulnerabilidade das populações a esses eventos.

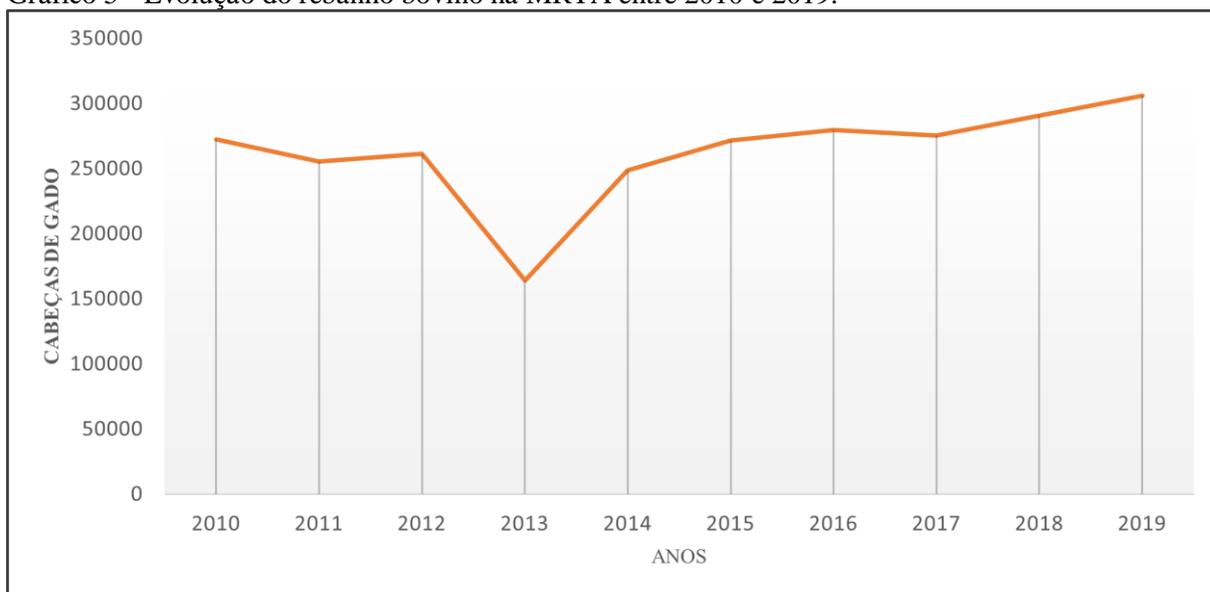
Ainda que alguns municípios da mesorregião nordeste paraense fossem considerados de baixa a muito baixa vulnerabilidade por possuírem boa infraestrutura em caso de ocorrência de desastres (ANDRADE; ANDRADE; BEZERRA, 2017), neste trabalho, foi possível observar que a malha viária, com rodovias estaduais cruzando a MRTA, é deficitária, podendo contribuir para o surgimento de focos de calor, principalmente, em períodos de estiagem e, contraditoriamente, em caso de desastres envolvendo fogo, essas vias de acesso dificultariam a resposta ao possível evento.

Ainda nesse sentido, constatou-se redução na rede hidrográfica da MRTA sendo mais acentuada nos municípios de Acará, Moju e Tailândia. Esse evento pode ser justificado pela pressão que os corpos d'água estão sofrendo, supostamente por ocasião da expansão agrícola e extrativista, como discorrido no trabalho de Ferreira; Lima e Corrêa (2017).

De posse dos elementos pesquisados, percebe-se grande coerência na afirmação de que o comportamento social é que determina o ambiental (GAMBA; RIBEIRO, 2012), entretanto, diante da vulnerabilidade ambiental surge a social, assim, pessoas que habitam áreas rurais estão mais vulneráveis à ameaça de fogo, pois nessas áreas existe grande quantidade de pasto, que é vegetação composta, provavelmente, pelos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*, uma vez que cerca de 85% das pastagens cultivadas no Brasil são compostas por esses dois gêneros, espécies botânicas muito susceptíveis à combustão (DICK et al., 2008; VALLE et al., 2003).

Essas áreas de pastagem, em 2019, correspondiam a cerca de um terço (27,47%) da MRTA, o que explica, que mesmo existindo diversas atividades econômicas na região, a pecuária também tem forte atuação, com evolução de 1,70% de rebanhos no período analisado (Gráfico 5), o que pode justificar a área de pastagem equivaler a 60,16% da área de floresta na MRTA com um crescimento de 1,7% durante o período de 2010 a 2019.

Gráfico 5 - Evolução do rebanho bovino na MRTA entre 2010 e 2019.



Fonte: Autora, adaptado de IBGE (2020).

A opção de queimar traz prejuízos extremos ao ecossistema, à floresta e às pessoas e, no tocante às florestas, vale ressaltar que espécies amazônicas são pouco resistentes ao fogo, principalmente, quando expostas a estresses térmico e hídrico, pois possuem casca externa muito fina quando comparada ao tamanho que seus troncos atingem na fase adulta, diferentemente do que ocorre com as espécies do bioma Cerrado, bem adaptáveis ao fogo (BARLOW; PERES, 2003). Ou seja, pastagem é muito susceptível ao fogo e espécies vegetais amazônicas também o são, salvo raríssimas exceções.

#### 6.1.1 Prognóstico para o município de Acará

Considerando a dimensão ambiental, Acará, além de possuir áreas de floresta maior que de pastagem, também possui a maior rede hidrográfica da MRTA. Embora possua um volume de precipitação elevado, foi possível observar, durante o período estudado, que nos meses de estiagem, houve elevação de número de focos de calor (Gráfico 6), ou seja, de janeiro a junho, observou-se maior volume de precipitação pluviométrica, e reduzido número de focos de calor, ocorrendo o evento oposto de julho a dezembro, período em que a população desse município, bem distribuída na zona rural, está mais exposta à ameaça de fogo, seus derivados e produtos (fumaça, fuligem). Contudo, essa ameaça pode ser mitigada pela presença da rede hidrográfica na região, o que a impele para classificação de baixa vulnerabilidade ambiental.

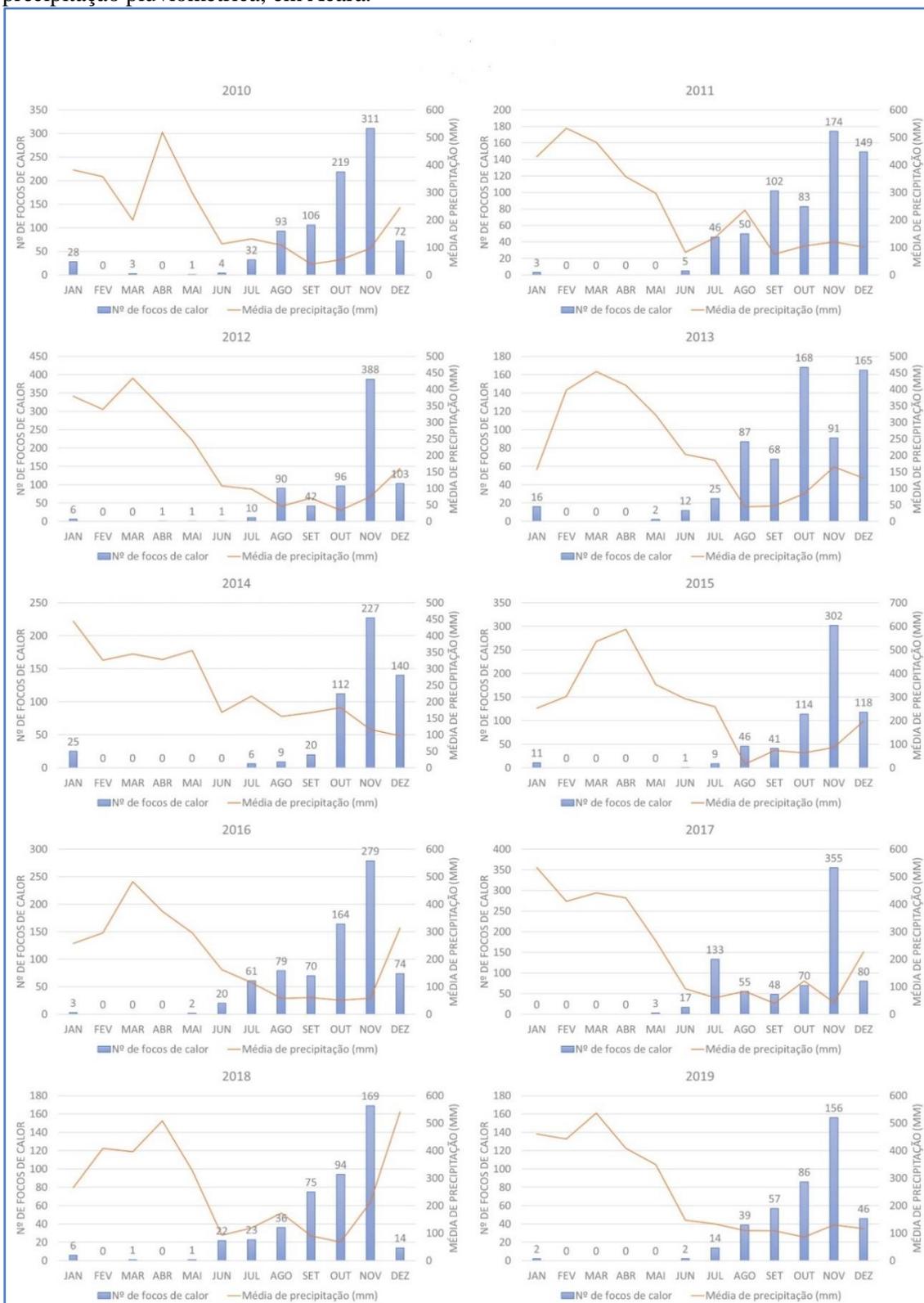
A dimensão social é composta por variáveis níveis de escolaridade e grupos de vulneráveis segundo a idade dos indivíduos (crianças e idosos). Apresentou cerca de 63% de sua população com o nível de escolaridade mais baixo e os grupos de vulneráveis com taxa

sensivelmente maior que nos outros municípios, dessa forma, fica comprometida a criticidade e a capacidade de resposta dessa população, submetendo o município à classificação de alta vulnerabilidade social.

A dimensão demográfica foi construída a partir da densidade demográfica e população rural que, neste município, representa cerca de três vezes e meio a população urbana, expondo grande número de pessoas a ameaças, perigos e riscos, conduzindo Acará para média vulnerabilidade demográfica, assumindo-se que as comunidades possuam um protagonista capaz de dirimir problemas de ordem social.

As três dimensões elencadas reunidas são responsáveis pela construção do indicador de média vulnerabilidade Socioambiental do município de Acará, afetam diretamente a criticidade e capacidade de resposta dessa população submetendo-a à classificação de alta vulnerabilidade social e colaborando para a construção de Indicador de média vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo.

Gráfico 6 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Acará.



Fonte: Autora.

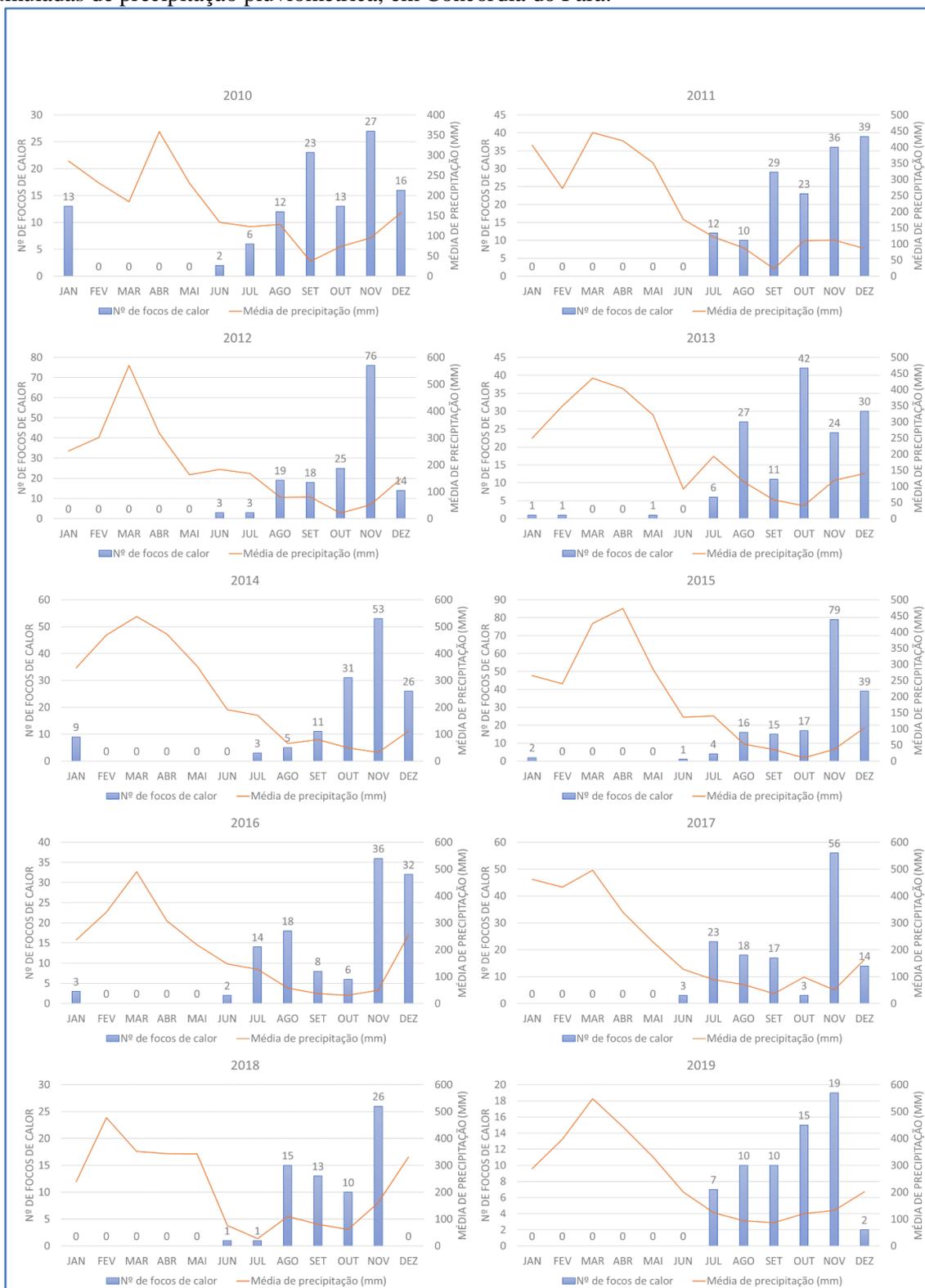
### 6.1.2 Prognóstico para o município de Concórdia do Pará

No período analisado, Concórdia do Pará sofreu um acréscimo populacional em torno de 6,7%, com a população total bem distribuída entre área urbana e rural. Trata-se do município com a menor área territorial da MRTA e, ao se considerar suas condições ambientais, constatou-se que pastagens predominam sobre florestas, elevando, assim a exposição dessa população a prováveis eventos relacionados ao fogo, principalmente, nos meses de menor volume de precipitação pluviométrica, onde se observou no período analisado, que meses com menor volume de chuvas favorecem o surgimento de focos de calor (Gráfico 7).

Possui a maior densidade demográfica da MRTA, com distribuição da população rural e urbana bem equiparada, com pouco mais de 50% de sua população com graus de escolaridade baixa, revelando baixa criticidade; possui taxa (somada) de crianças e idosos em torno de 30%, muito similar a taxa dos outros municípios da região, dificultando a capacidade de resposta dessa população diante de possíveis desastres envolvendo fogo e seus derivados, elevando a condição de vulnerabilidade social.

As dimensões demográficas, sociais e ambientais, quando agregadas, convergiram para a construção do indicador de alta vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo.

Gráfico 7 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais acumuladas de precipitação pluviométrica, em Concórdia do Pará.



Fonte: Autora.

### 6.1.3 Prognóstico para o município de Moju

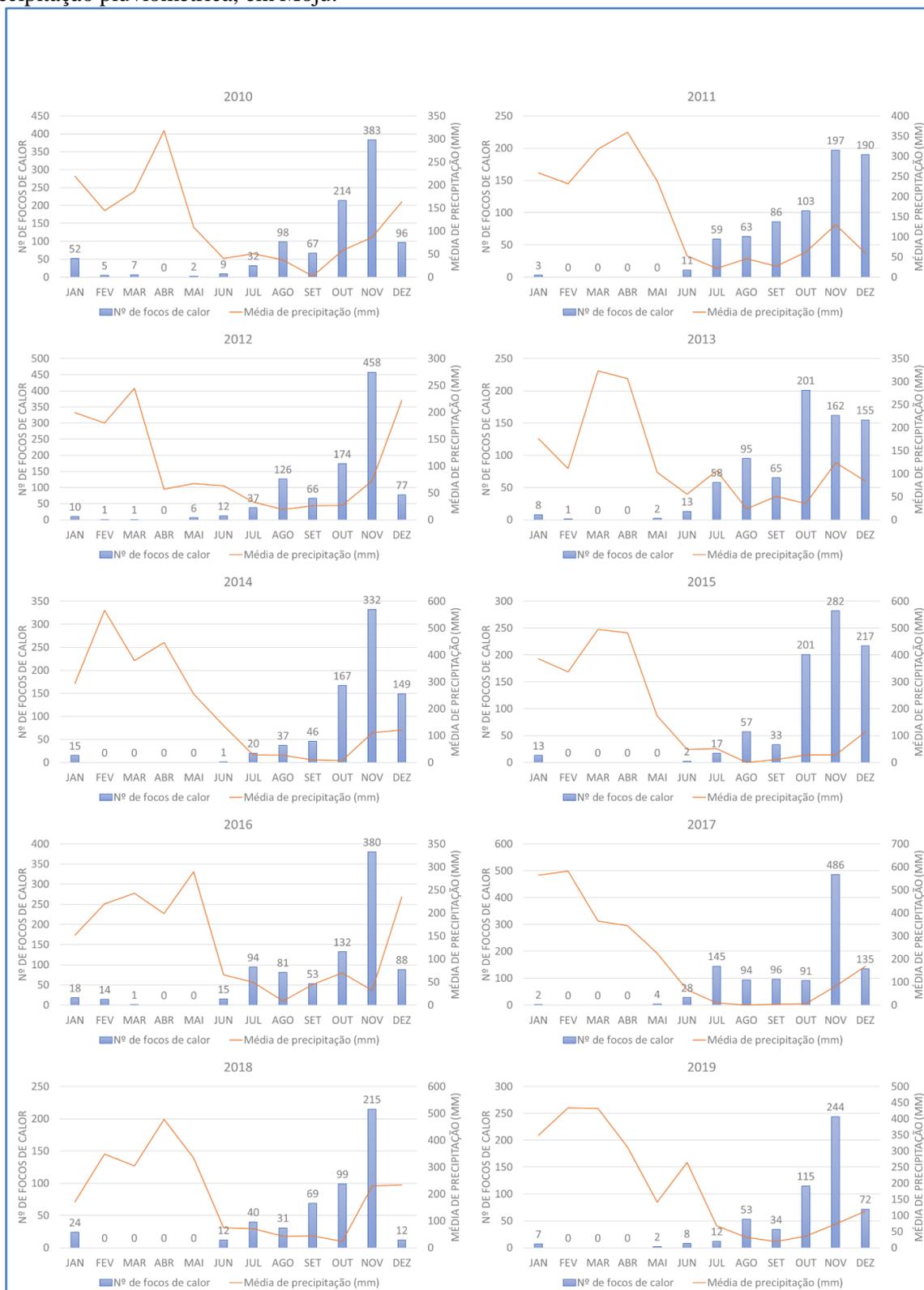
Em Moju, as florestas (cerca de 60%) predominam sobre as pastagens (cerca de 29%); possui a maior extensão territorial da MRTA; a segunda maior rede hidrográfica; menor média anual de precipitação pluviométrica e, ainda que se tenha percebido elevação nos números de focos de calor em 2010, 2012 e 2017 (Gráfico 8), foi submetido sob a classificação de baixa vulnerabilidade à ameaça de fogo, supostamente, por conter uma rede hidrográfica capaz de reduzir os impactos de um possível desastre, caso ocorra, e por ter diminuído o número de focos de calor no município, ao longo dos anos.

Segundo Silva e Navegantes-Alves (2019), Moju também foi afetado pela operação “Arco de fogo” e com vários de seus agricultores penalizados por uso indiscriminado do fogo, estes tiveram que mudar suas condutas, iniciando, então, as atividades com o plantio de dendê, o qual utiliza técnicas modernas desde a preparação da terra até a colheita, evitando a prática tradicional de preparo da terra.

A associação da precipitação atrelada a fatores climáticos e antrópicos pode explicar a vulnerabilidade da população, esta, composta por grande percentual de pessoas com baixa escolaridade, o que pressupõe menor criticidade e compreensão dos riscos a que estão expostos, refletindo em reduzida capacidade de resposta e inserindo-o sob a classificação de média vulnerabilidade social, a se supor que nas comunidades exista uma liderança.

No entanto, trata-se do município da MRTA com a maior área territorial que, quando mescla os parâmetros demográficos, sociais e ambientais apontam para a construção de indicador de baixa vulnerabilidade socioambiental frente a ameaça de fogo.

Gráfico 8 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Moju.



Fonte: Autora.

#### 6.1.4 Prognóstico para o município de Tailândia

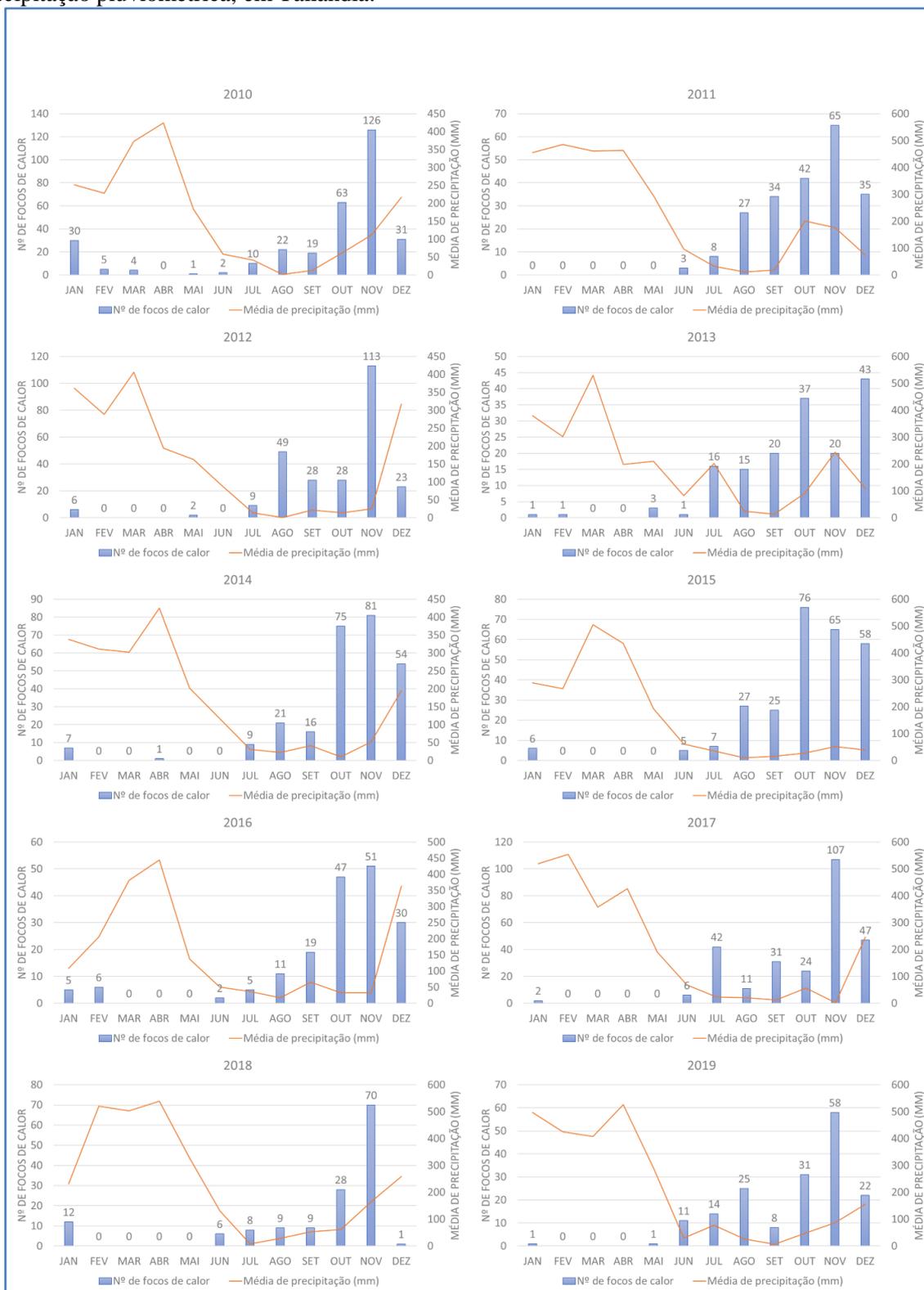
Acerca de observações ambientais, observou-se que o município de Tailândia possui área de floresta dominando a de pastagens; rede hidrográfica bastante reduzida; elevadas médias anuais de precipitação pluviométrica acompanhando os padrões dos outros municípios da MRTA, que em períodos menos chuvosos apresentam numerosos focos de calor (Gráfico 9) que podem ser intensificados pois, de acordo com Neres et al. (2017), o município de Tailândia possui muitas propriedades com áreas que variam de 25 a 700ha, com pastagens em processo de degradação ou já formadas, compostas predominantemente por gramíneas (*Brachiaria* e *Panicum*), que são altamente inflamáveis em períodos de estiagem.

No sentido de frear as ações antrópicas causadoras do surgimento de focos de calor em Tailândia, deflagrou-se operações como “Arco de fogo” e “Arco de desmatamento”, e parâmetros que antes o condicionariam a alta vulnerabilidade ambiental, atualmente, estão mais apaziguados, podendo direcioná-lo para média vulnerabilidade ambiental (FIGUEIREDO; COSTA; TAVARES, 2015).

Em se tratando da dimensão social, esta apresentou a maior taxa de pessoas com graus de escolaridade mais elevada quando comparada a dos outros municípios e exibiu a menor taxa de crianças e idosos (cerca de 26%) da MRTA, o que o classificou sob baixa vulnerabilidade social à ameaça de fogo, pois, teoricamente, as pessoas com maior grau de instrução possuem maior entendimento sobre os riscos e ameaças que as cercam, assim, possuem maior criticidade e capacidade de resposta.

Em relação a dimensão demográfica, foi observado que a população rural é três vezes menor que a urbana, reduzindo a exposição dessa população que ao juntar-se com as dimensões sociais e ambientais apontam para a criação de um indicador de vulnerabilidade baixa à ameaça de fogo.

Gráfico 9 - Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Tailândia.



Fonte: Autora.

#### 6.1.5 Prognóstico para o município de Tomé-açu

O município de Tomé-açu apresenta áreas de florestas correspondendo a quase metade da área do município (52%) e pastagens em torno de 30%; contém reduzida taxa referente a rede hidrográfica; médias anuais de precipitação elevadas, porém, similares as dos outros municípios; no entanto, observou-se grande quantidade de focos de calor mesmo com grandes volumes de precipitação pluviométrica no último trimestre dos anos de 2010 a 2013 (Gráfico 10).

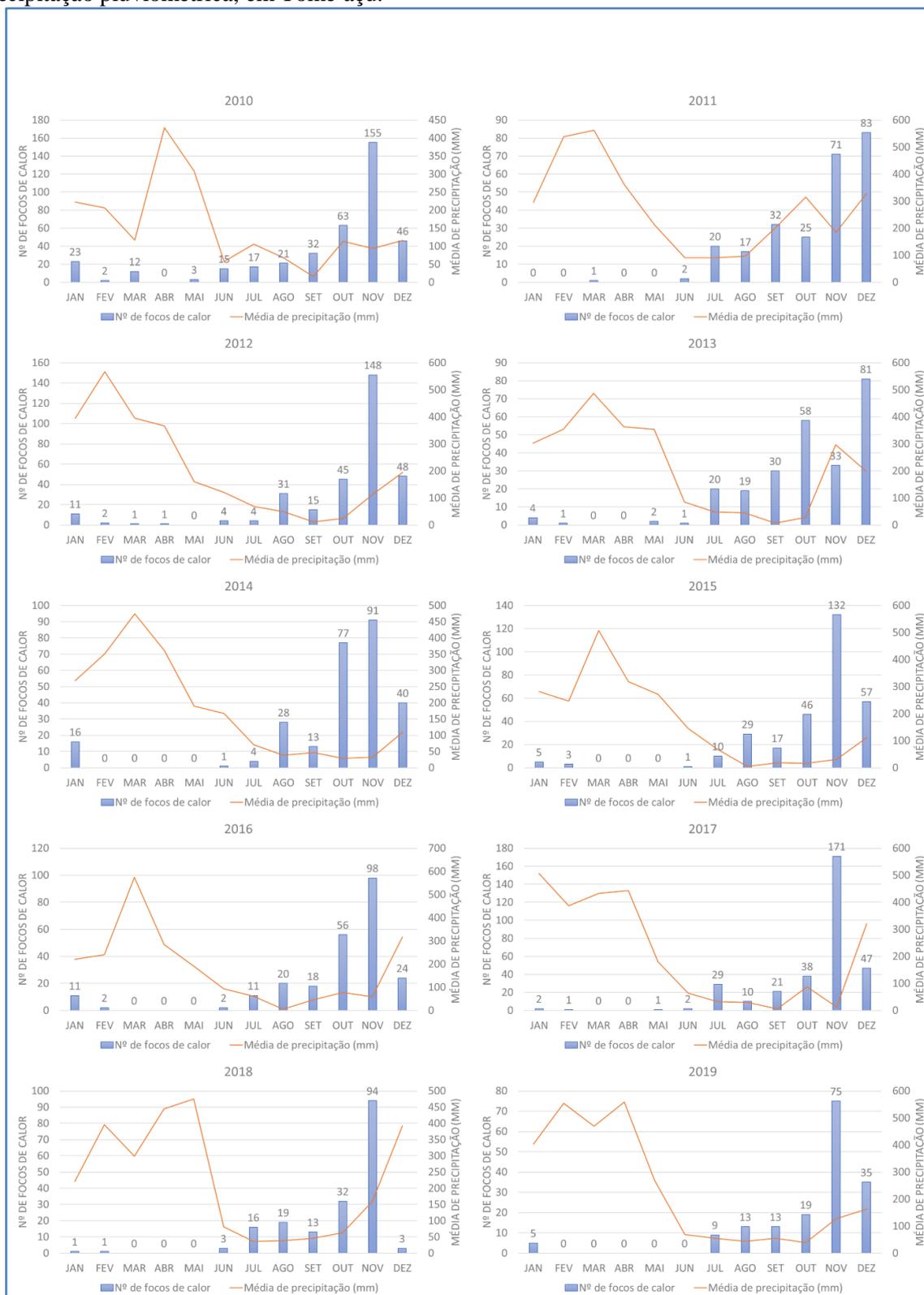
Esse município também foi alvo da operação Arco de Fogo, cujo objetivo era coibir o uso do fogo, ocorrendo a redução do número de focos de calor com a implementação da dendeicultura por grande parte dos agricultores locais, que utilizava técnicas modernas de preparo da terra coibindo a prática tradicional, fonte geradora de fogo, reduzindo a vulnerabilidade ambiental desse município a ameaça de fogo.

Essa classificação também pode ser parcialmente justificada pela presença de várias fitofisionomias vegetais, compostas por apropriada cobertura do solo, cuja finalidade é diminuir os impactos a fatores externos (SANTOS, 2015).

A variável social mais contundente foi o nível de escolaridade que, neste município como nos demais, possui um percentual elevado da população sem instrução ou com nível fundamental incompleto, dificultando a compreensão dessa parte da população acerca de assuntos mais complexos, direcionando o município para média vulnerabilidade, também admitindo que existam nas comunidades lideranças para tratar de assuntos de cunho social.

Este município sofreu pouco acréscimo populacional (1,35%) durante 2010 a 2019; possui baixa densidade demográfica, com população rural menor que urbana, reduzindo a exposição das pessoas à ameaça de fogo, e quando somadas as três dimensões Ambiental, social e demográfica), as mesmas contribuem para a construção do indicador de baixa vulnerabilidade socioambiental à ameaça de fogo.

Gráfico 10 – Distribuição mensal de números de focos de calor em relação às médias mensais de precipitação pluviométrica, em Tomé-açu.



Fonte: Autora.

## 7 CONCLUSÃO

Nota-se que a MRTA revela várias suscetibilidades ambientais e sociodemográficas, entretanto, foi a dimensão social que mais contribuiu para a classificação da vulnerabilidade dos municípios. O grau de escolaridade foi o fator determinante para a classificação da alta vulnerabilidade social do município de Acará, pois lidera a posição em população da MRTA com baixa escolaridade.

Tailândia possui baixa vulnerabilidade social à ameaça de fogo por apresentar as menores taxas de grupo de vulneráveis por faixa etária (crianças e idosos) e maior população com escolaridade mais elevada da MRTA. Os demais municípios exibiram resultados similares para a dimensão social e ficaram submetidos à classificação de média vulnerabilidade social.

Concórdia do Pará foi classificado como de alta vulnerabilidade ambiental porque apresenta reduzida área territorial, menor rede hidrográfica e área de pastagem superando área de floresta. Tailândia e Tomé-açu estão sob a classificação de média vulnerabilidade à ameaça de fogo, pois possuem percentuais satisfatórios de cobertura florestal, com elevados volumes de precipitação pluviométrica, porém, reduzidas taxas de hidrografia o que o direciona para a classificação atribuída. Por outro lado, Moju e Acará possuem baixa vulnerabilidade pois possuem grande parte de suas áreas representados por florestas em detrimento das pastagens e são os municípios da MRTA com maior taxa hidrográfica.

Em relação a dimensão demográfica, Concórdia do Pará foi classificado sob alta vulnerabilidade por apresentar a maior densidade demográfica da MRTA, população rural equivalente à urbana. Sob a classificação de vulnerabilidade média está o município de Acará, provavelmente, por possuir razoável densidade demográfica numa área territorial maior, o que contribui para a classificação atribuída; Tailândia e Tomé-açu foram classificados sob baixa vulnerabilidade à ameaça de fogo por possuírem a maior parte da população residindo em área urbana; Moju também foi classificado sob baixa vulnerabilidade demográfica, pois embora predomine a população rural neste município, possui a menor densidade demográfica da MRTA.

O Indicador de vulnerabilidade socioeconômica apontou o município de Concórdia do Pará como o mais vulnerável justificado pelos resultados encontrados nos parâmetros ambientais, demográficos e sociais (a mais elevada densidade demográfica da MRTA, pastagem em maior quantidade que florestas, menor representação hídrica, elevado número de crianças e idosos, quase metade da população residindo em áreas rurais).

A população da microrregião de Tomé-açu conseguiu adaptar-se às transformações, sofridas por ocasião das mudanças em suas atividades laborais, no entanto, ainda se faz

necessário maior incentivo à elevação de educação formal (escolaridade oficial) e não-formal (capacitações e treinamentos) para que a população da região obtenha capacidade de resposta e criticidade, de forma a pressionar para que os municípios ofereçam capacidade de suporte em caso de desastres, afim de criar comunidades e cidades resilientes.

No tocante as condições ambientais, faz-se necessário que as leis de proteção aos recursos naturais sejam cumpridas ou fiscalizadas com rigor e que se possa oferecer à população rural melhores condições de vida para que seja reduzido o fator exposição.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo, SP: Ateliê Editorial. 2003
- ABREU, R. C. R. *et al.* The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science advances**, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.
- AGENCE FRANCE PRESSE - AFP. Relembra os incêndios florestais mais mortais do século em todo o mundo. **O Globo**, 26 jul. 2018. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/mundo/relembra-os-incendios-florestais-mais-mortais-do-seculo-em-todo-mundo-22919149>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Divisões Hidrográficas do Brasil**. Disponível em: [https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy\\_of\\_divisoes-hidrograficas](https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/copy_of_divisoes-hidrograficas). Acesso em: 12 set. 2019.
- ALBUQUERQUE, M.F. *et al.* Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Rev. Bras. de Climatologia**, v.6, p151-168, 2010.
- ALVARES, C.A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVAREZ, L. C. B. **Desenvolvimento agrícola e distribuição de renda: um comparativo entre o Paraguai e o Brasil**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento Econômico) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP. 2017.
- ANDERSON, L. O. *et al.* Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. **Territorium**, n. 26, p. 43-61, 2019.
- ANDRADE, M. M. N. de; ANDRADE, A. de S; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no estado do Pará (Brasil). **Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible**, n. 30, p. 1-16, 2017.
- ANDRADE, V. M. S. de *et al.* Considerações sobre clima e aspectos edafoclimáticos da mesorregião Nordeste paraense. In: CORDEIRO, I. M. C. C. *et al.* (orgs.). **Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. p. 59-96.
- ARAGÃO, J. O. R. O Impacto do ENOS e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, v.27, n.3, p. 839-844, 1998.
- BACANI, V. M. Geoprocessing applied to risk assessment of forest fires in the municipality of Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Revista Árvore**, v. 40, n. 6, p. 1003-1011, 2016.
- BARBOSA, M. J. de S. *et al.* **Território Nordeste paraense: desenvolvimento sustentável e gestão estratégica dos territórios rurais no Estado do Pará**. Belém: UFPA/MDA, 2011. 67 p. (Relatório Analítico).

BARLOW, J.; PERES, C. A. Fogo rasteiro: nova ameaça na Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 34, p. 24-29, 2003.

BECKER, B. **Amazônia**: geopolítica na virada do III Milênio. Rio de Janeiro. Editora Garamond. 168p. 2004.

BECKER, B. K. A (des)ordem global, o desenvolvimento sustentável e a Amazônia. *In*: BECKER, B. K., CHRISTOFOLETTI, A., DAVIDOVICH, F. R. e GEIGER, P. P. (orgs.) **Geografia e meio ambiente no Brasil**. São Paulo: Hucitec, 1995. p.46-64.

BELMOK, A. *et al.* Long term effects of periodical fires on archaeal communities from Brazilian Cerrado Soils. **Archea**, 2019, DOI:10.1155/2019/6957210.

BIRKMANN, J. *et al.* Scenarios for vulnerability: opportunities and constraints in the context of climate change and disaster risk. **Climate Change**, v. 133, n. 1, p. 53-68, 2015.

BIRKMANN, J.; FERNANDO, N.; HETTIGE, S. Measuring vulnerability in Sri Lanka at the local level. *In*: BIRKMANN, J. **Measuring vulnerability to natural hazards. Towards disaster resilient societies**. Tokyo, Japan: United Nations University Press, 2006. p. 329-356.

BLAIKIE, P. M.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B. **At risk**: natural hazards, people's vulnerability, and disasters. 2. ed. London: Routledge, 1994.

BRASIL. **Decreto nº. 7.172, de 7 de maio de 2010**. Aprova o zoneamento agroecológico da cultura da palma de óleo e dispõe sobre o estabelecimento pelo Conselho Monetário Nacional de normas referentes às operações de financiamento ao segmento da palma de óleo, nos termos do zoneamento. Brasília, DF. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7172.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7172.htm). Acessado em 17/11/2010.

BRASIL. Estatuto do idoso: **Lei Federal nº 10.741, de 01 de outubro de 2003**. Brasília, DF: Gráfica do Senado Federal, 2011.

BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental: **Lei 9795, de 27 abril de 1999**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9795.htm). Acesso em: 24 jun. 2021.

CARDOSO, F. H. M. **Amazônia**: expansão do capitalismo. São Paulo: Editora brasiliense, 1977.

CARVALHO, A.C.A. de. **As metamorfoses do trabalho e no espaço a partir da dendeicultura em Tomé-açu (PA)**: estudos de caso na vila da Forquilha. 2016. 117f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará Belém, 2016.

CARVALHO, M. S.; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, p. 361-378, 2005.

CASTRO, H. A.; GONÇALVES, K. S.; HACON, S. S. Tendência da mortalidade por doenças respiratórias em idosos e as queimadas no estado de Rondônia/Brasil - período entre 1998 e 2005. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2083-2090, 2009.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS - CEMADEN. Cemaden Educação. 2017. Disponível em <http://educacao.cemaden.gov.br/site/project/>. Acesso em 01 setembro 2020.

CLIMATE PREDICTION CENTER- CPC. **Cold & warm episodes by season**. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 20 mai. 2021.

COCHRANE, M. A. **Tropical fire ecology**: climate change, land use and ecosystem dynamics. Springer Science & Business Media, 2010.

COCHRANE, M. A. O grande incêndio de Roraima. **Ciência Hoje**, v.27, n. 157, p.26-43. 2000.

CORDEIRO, I. M. C. C.; ARBAGE, M. J. C.; SCHWARTZ, G. Nordeste do Pará: configuração atual e aspectos identitários. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (orgs.). **Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017.

CORREIA FILHO, W. L. F. *et al.* Rainfall variability in the Brazilian northeast biomes and their interactions with meteorological systems and ENSO via CHELSA product. **Big Earth Data**, v. 3, n. 4, p. 315-337, 2019.

COSTA, L. M. **Comunicação & meio ambiente**: a análise das campanhas de prevenção a incêndios florestais na Amazônia. Belém: NAEA/UFPA, 2006. 337p.

COSTA, M. R. G. F. *et al.* Uso do fogo em Pastagens Naturais. **PUBVET**, Londrina, v. 8, n.9, ed. 156, art. 1050, 2011.

CROWDER, L. V.; CHHEDA, H.R. **Tropical grassland husbandry**. New York: Longman, 1983. 572p.

CUTTER, S. L. A. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v.93, n.1, p.59-69, jun. 2011.

D'AYALA, D. *et al.* Resilient communities through safer schools. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.45, p. 101446, [22p]. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Visualizador DNITGeo**. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo/>. Acesso em: 23 ago. 2019.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade Socioambiental na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: UFPR, 2004. 155f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DICK, D. P. *et al.* Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 633-640, 2008.

ERIKSEN, C.; GILL, N. Bushfire and everyday life: examining the awareness-action 'gap' in changing rural landscapes. **Geoforum**, v. 41, n. 5, p. 814-825, 2010.

FERNANDES, A.C.G. *et al.* Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.8, n.2, p. 30-40, 2016. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/2845>. Acesso em: 18 de jun. 2021.

FERNANDES, T. *et al.* Detecção e análise de focos de calor no município de Parauapebas-PA, Brasil por meio da aplicação de geotecnologia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, 2018.

FERREIRA, L.V. *et al.* A extração ilegal de areia como causa de desaparecimento de campinas e campinaranas no estado do Pará, Brasil. **Pesquisas, Botânica**, São Leopoldo, Instituto Anchieta de Pesquisas, n. 64, p. 157-173, 2013.

FERREIRA, A.J.D.; ALEGRE, S.P.; COELHO, C.O.A.; SHAKESBY, R.A.; PÁSCOA, F.M.; FERREIRA, C.S.S.; KEIZER, J.J.; RITSEMA, C. Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas. **Catena**, v.128, p. 224-237, 2015.

FERREIRA, S.C.G.; LIMA, A.M.M.de; CORRÊA, J.A.M. Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 4, p. 680-693, 2017.

FERREIRA-LEITE, F. *et al.* grandes incêndios florestais em Portugal Continental como resultado das perturbações nos regimes de fogo no mundo mediterrâneo. **Silva Lusitana**, p. 127-142, 2013.

FIGUEIREDO, B. L.; COSTA J. A. da; TAVARES L. C. Avaliação temporal e espacial das ocorrências de focos de calor em relação as estradas no município de Tailândia (Pará). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17, 2015, João Pessoa, PB: INPE, 2015. p.6803-6809.

FONSECA-MORELLO, T. *et al.* Queimadas e incêndios florestais na Amazônia brasileira: por que as políticas públicas têm efeito limitado? **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 19-40, 2017.

FREITAS, C. M. de. *et al.* **Guia de preparação e respostas do setor saúde aos desastres**. Rio de Janeiro, RJ: Fiocruz. Secretaria de Vigilância em Saúde, 2018. 159p.

FREITAS, C. M. de *et al.* Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, p. 1577-1586, 2012.

FREITAS, M. I. C.; CUNHA, L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, p. 15-31, 2013.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS- FAPESPA. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. **Estatísticas municipais paraenses**: Tomé-Açu. Belém, 2016.

GAMBA, C.; RIBEIRO, W.C. Indicador e avaliação da vulnerabilidade socioambiental no município de São Paulo. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n.31 Especial, p. 19-31, 2012.

GEVANA, D. *et al.* Land use characterization and change detection of a small mangrove area in Banacon Island, Bohol, Philippines using a maximum likelihood classification method. **Forest science and technology**, v. 11, n. 4, p. 197-205, 2015.

GILL, A.M. Landscape fires as social disasters: an overview of ‘the bushfire problem’ global environmental change Part B: **Environmental Hazards**, v. 6:2, p. 65-80, 2005.

GOBBO, S. D. A. *et al.* Uso da terra no entorno do Parna-Caparaó: preocupação com incêndios florestais. **Floram - Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 350-361, 2016.

GONÇALVES, K. dos S. *et al.* Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 3809-3818, 2014.

GONÇALVES, K. dos S.; CASTRO, H.A. de; HACON, S. de S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n.6, p. 1523-1532, 2012.

HERAWATI, H.; SANTOSO, H. Tropical forest susceptibility to and risk of fire under changing climate: A review of fire nature, policy and institutions in Indonesia. **Forest Policy and Economics**, v. 13, n. 4, p. 227-233, 2011.

HERINGER, I.; JACQUES, A. V. A. Adaptação das plantas ao fogo: enfoque na transição floresta-campo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 31, n. 6, p. 1085-1090, 2001.

HIRST, K.K. The discovery of fire. **ThoughtCo**. 4 mai. 2019. Disponível em: <https://www.thoughtco.com/the-discover>. Acesso em 23 dez. 2019.

HUFSCHMIDT, G.; CROZIER, M.; GLADE, T. Evolution of natural risk: research framework and perspectives. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.5, n. 3, 375 - 387, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA. **Monitoramento de queimadas em imagens de satélites**. Publicado: Terça, 13 de dezembro de 2016, 17h36. Disponível na biblioteca digital: [http://ibama.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=785&Itemid=697](http://ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=785&Itemid=697). Acesso em: 17 jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS- IBAMA. **Investigação de incêndios florestais**. Brasília - DF: IBAMA. Prevfogo, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Geociências**. Disponível em: [www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br). Acesso em: 12 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: [www.cidades.ibge.gov.br](http://www.cidades.ibge.gov.br). Acesso em: 12 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5457#resultado>. Acesso em: 12 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. 2019. Acesso em: 20 mai. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Relatório de análise de mercados de terras do Pará/RAMT-PA (SR01), mercados regionais de terra**: Castanhal, Bragantino, BR-010, PA-150. [S.l.], 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE **Metodologia do cálculo do risco de fogo do programa queimadas do INPE – versão 10, 2016, junho**. Disponível em: [https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo\\_Sucinto\\_20171121](https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/RiscoFogo_Sucinto_20171121). Acesso em: 20 novembro de 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Banco de Queimadas**. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#p13>. Acesso em: 03 de novembro de 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. CLIMATE CHANGE-IPCC. **Impacts, adaptation and vulnerability**. [S.l.]: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2007. 68p.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION- ISDR. **Visions of risk**: a review of international indicators of disaster risk and its management. London: Inter-Agency Task force on Disaster Reduction –Working Group 3, 2004. 73p.

IWAMA, A.Y. *et al.* Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, 2016.

LAMEIRA, W.J. de M.; VIEIRA, I.C.G.; TOLEDO, P.M. de. Análise da expansão do cultivo da palma de óleo no Nordeste do Pará. **Novos Cadernos NAEA**, v. 18, n. 2, p. 185-197, jun-set. 2015

LIESENFELD, M.; VIEIRA, G.; MIRANDA, I. P. de A. "Ecologia do fogo e o impacto na vegetação da Amazônia." **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 36, n. 88, p. 505-517, out./dez. 2016.

LIMA, C.; SILVEIRA, A.; FRANÇA, I. Dimensão produtiva da agricultura familiar: estudo de caso no projeto de assentamento Vake do Moju-PA. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 777-793, 2015.

LIVERMAN, D.M. Vulnerability to global environmental change. *In*: CUTTER, S.L. (ed.). **Environmental risks and hazards**. London: Prentice-Hall, 1994.

LONGO, K. M. *et al.* The coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (CATT-BRAMS) –Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, n. 13, p. 5785-5795, 2010.

MALILAY, J. A review of factors affecting the human health impacts of air pollutants from forest fires. *In*: SCHWELA, D. H. *et al.* (ed.) **Health guidelines for vegetation fire events: guideline document**. Lima, Peru. Genebra: WHO, 1999, p. 255-270.

MALILAY, J. A review of factors affecting the human health impacts of air pollutants from forest fires. *In*: **Background papers of health guidelines for vegetation fire events**. Lima, Peru. Genebra: WHO, 1999. p. 255-270.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília,DF: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MAROUN, M. R. **Adaptação às mudanças climáticas**: uma proposta de documento de concepção de projeto (DCP) no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). 2007. xiv, 188f. Tese (Doutorado) - Energy Planning Program (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, 2007.

MASCARENHAS, M. D. M. *et al.* Poluição atmosférica devido a queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - setembro, 2005. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 34, n.1, p.42-46, 2008.

MATA-LIMA, H. *et al.* Impacts of natural disasters on environmental and socio-economic systems: what makes the difference? **Ambient. Soc**, v. 16, n. 3, p. 45-64, 2013.

MENDES, J. M. *et al.* vulnerabilidade social aos perigos naturais e tecnológicos em Portugal. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, p. 95-128, 2011.

MIRANDA, V. T.; SANTOS, M.L.S.; PEREIRA, J.A.R.; MESQUITA, K.F.C. Índices de qualidade da água da Ilha de Mosqueiro-PA. **Rev DAE**, v. 64, p.74-81, jan-abr. 2016

MITCHELL, T.; TANNER, T.; HAYNES, K. **Children as agents for disaster risk reduction**: lessons from El Salvador and the Philippine. [S.l.:s.n], 2009. Disponível em: <https://www.eldis.org/document/A43151>. Acesso em: 13 dezembro de 2019.

MORATO, R.G. **Análise espacial e desigualdade ambiental no município de São Paulo**. 2008. xi, 131, [10]. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação de Geografia Humana, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2008.

MUSITANO, M. O homem e o fogo. **Invivo**, Fundação Oswaldo Cruz, 2019. Disponível em: <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1014&sid=9>. Acesso em: 24 mai. 2019.

NAHUM, J. S.; MALCHER, A. T. C. Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na microrregião de Tomé-Açu (PA). **Revista Franco-Brasileira de Geografia (confins)**, v. 16, n.12, 2012. <https://doi.org/10.4000/confins.7947>.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. dos. Dendeicultura e descampesinização na Amazônia Paraense. **Revista Campo Território**, 9, n. 17, p. 469-485, 2014.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. dos. Dossiê. Dendê para quem? A ideologia da fronteira na Amazônia paraense. **Revista NERA**, Presidente Prudente, ano 21, n. 42, p. 113-134, 2018.

NANDY, S. *et al.* Environmental vulnerability assessment of eco-development zone of Great Himalayan National Park, Himachal Pradesh, India. **Ecological indicators**, v. 57, p. 182-195, 2015.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **A floresta em chamas: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia**. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Edição Revisada. Brasília,DF, Brasil, 1999. 202 p.

NASCIMENTO, E. A. **A participação de agricultores familiares no processo de recuperação de áreas alteradas na região do Xingu, estado do Pará**. Pará: UFPA, 2011. 247f. Tese (Doutoramento em Ciências-Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

NERES, L. de S. *et al.* Caracterização da pecuária leiteira no município de Tailândia, Estado do Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.60, n. 3, p. 278-285, jul/set. 2017.

OKSANEN, J., BLANCHET, F. G., FRIENDLY, M., KINDT, R., LEGENDRE, P., McGLINN, D.; WAGNER, H. **Vegan: community ecology package (Version 2.5-5)**. 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>. Acessado em: 16 jan. 2021.

OMENA, M. T. R. de. *et al.* Zoneamento do risco de incêndio florestal para o Parque Nacional de São Joaquim–SC. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 173-186, 2016.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS. **Instrução Normativa N.51, de 08 de setembro de 2010**. Dispõe sobre a Autorização de Queima Controlada no âmbito do Estado do Pará e dá outras providências. Belém, 2010. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2010/09/08/10976/>. Acesso em: 21 abr. 2021.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade - SEMAS. **Amazônia Agora: Decreto n 941 de 03 de agosto de 2020** – Belém: SEMAS, 15f. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/GUIAINFO.pdf/>. Acesso em 24 jun. 2021.

PINHO, G. F. de. **Relação entre a condição de mobilidade da população e acesso às políticas públicas em Moju e Acará-PA**. 2015. 210f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, Instituto Tecnológico Vale, 2015.

PONTES, N. Efeitos climáticos do La Niña persistem até meados de 2011, diz OMM. **Deutsche Welle**. 25 jan. 2011. Disponível em: <https://p.dw.com/p/102wd>. Acesso em: 21 mai. 2021.

R. CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing website, 2020.

REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K. O. **História da colonização do Nordeste Paraense: uma reflexão para o futuro da Amazônia**. Belém: EDUFRA, 2017.

REBOITA, M. S.; SANTOS, I. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 28-48, jul./dez. 2015.

RODRIGUES, L. O. *et al.* Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco (Influence of El Niño and La Niña events on rainfall of Agreste Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995-2009, 2017.

SALES, G. M. *et al.* Emprego dos focos de calor na avaliação das 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.

SANTANA, R.M. Os caminhos da regularização fundiária no município de Concórdia do Pará/PA. São Paulo: USP, 2010. 178f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SANTOS, A. M. S. **Diagnóstico do uso do fogo em propriedades rurais nos limites do município de Patos-PB**. 2010. 53f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB.

SANTOS, B. F. B. dos. **Aplicação dos sistemas de informação geográfica como ferramenta de apoio ao combate a incêndios florestais no concelho da guarda**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informação Geográfica) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010.

SANTOS, J. A. C. dos *et al.* Uso do fogo na agricultura: medidas preventivas e queima controlada no Projeto de Desenvolvimento Sustentável Terra Nossa, Novo Progresso, Pará. **Revista Agroecossistemas**, [S.1], v. 10, n. 2, p.353-366, nov. 2018. ISSN 2318-0188. Disponível em <https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/5211>. Acesso em 17 jun. 2021. doi <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5211>.

SANTOS, K.; SILVA, D.; GUIMARÃES R. Análise multitemporal de focos de queimadas e variáveis climáticas, no Estado do Pará. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.14, n.1, p. 118-133. 2020.

SANTOS, L.S dos *et al.* Paisagem rural da microrregião de Tomé-Açu sob a ótica bertrandiana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.07, p. 2694-2715. 2019.

SANTOS, P. S. dos. **Estudo da vulnerabilidade ambiental no município de Santo Amaro/BA**. 2015. 126f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2015.

SAUER, S. **Prevenção de incêndios florestais na Amazônia**: lições aprendidas no Projeto Proteger. Brasília,DF: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Coordenação da Amazônia, 2005.

SILVA, E. P. da; MAGALHÃES, S.B.; FARIAS, A. L. A. de. Monocultivos de dendzeiros, capital transnacional e concentração de terras na Amazônia paraense. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, v. 11, n. 23, p. 165-195, jul., 2016.

SILVA, E. M.; NAVEGANTES-ALVES, L. F. Transformações nos sistemas de produção familiares diante a implantação do cultivo de dendê na Amazônia Oriental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 40, p. 345-364, 2017.

SILVA, R.; WERTH, D.; AVISSAR, R. Regional impacts of future landcover changes on the Amazon Basin Wet-Season Climate. **Journal of Climate**, v.21, p.1153-1170, 2008.

SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. *In*: Monographs on statistics and applied probability. London: Chapman and Hall,1986.

SLOWIKOWSKI, K. *et al.* Package ggrepel. *In*: **Automatically position non-overlapping text labels with “ggplot2”**. 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=ggrepel>. Acessado em: 16 jan. 2021.

SOARES, R.V. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 30, n. 1/2, p. 11-21, 2000. <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2363>.

SOUSA, A.M.L. *et al.* Variabilidade espaço-temporal da precipitação na Amazônia durante eventos ENOS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, P. 13-24. 2015.

STOCKHOLM RESILIENCE CENTRE. **Resilience**. Stockholm Resilience Centre, 2011.

TEDIM, F.; CARVALHO, S. Vulnerabilidade aos incêndios florestais: reflexões em torno de aspetos conceptuais e metodológicos. **Territorium**, n. 20, p. 85-99, 2013.

TEIXEIRA, P.; MATTA, M. Detecção e análise da distribuição de focos de calor no município de Ipixuna do Pará-PA. Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 2020.

THOMAZ, E. L. High fire temperature changes soil aggregate stability in slash-and-burn agricultural systems. **Scientia Agricola**, v. 74, 157- 162, 2017. DOI: 10.1590/1678-992x-2015-0495.

TORRES, F. T. P. *et al.* Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2017.

UHL, C.; BUSBACHER, R. Adisturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in the Eastern Amazon. **Biotropica**, v. 14, p. 265-268, 1985.

VALLE, C. B. *et al.* Lançamento de cultivares forrageiras: o processo e seus resultados- cultivares Massai, Pojuca, Campo Grande e Xaraés. *In: EVANGELISTA, A. R.; REIS, S.T.; GOMIDE, E. M. (org.). Forragicultura e pastagens em evidência: sustentabilidade.* Lavras, 2003. p.179-225

VASCONCELOS, S. S. de. *et al.* Suscetibilidade da Vegetação ao fogo no Sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.2, p.134-144, 2015

VASCONCELOS, S. S. de *et al.* Variability of vegetation fires with rain and deforestation in Brazil's state of Amazonas. **Remote Sensing of Environment**, 136, p.199-209, 2013.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; ALMEIDA, A. Análise das modificações da paisagem da região Bragantina, no Pará, integrando diferentes escalas de tempo. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 59, n. 3, p. 27-30, 2007.

WHITTAKER, J.; HANDMER, J.; MERCER, D. Vulnerability to bushfires in rural Australia: a case study from east gippsland, Victoria. **Journal of Rural Studies**, v. 28, n. 2, p. 161-173, 2012.

WICKHAM, H. *ggplot2: elegant graphics for data analysis (use R!)*. New York. Springer, 2009. v. 10, p. 978.

WIGTIL, G. *et al.* Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, p. 896-908, 2016.

WISNER, B. *et al.* **At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. Second Edition. London and New York: Routledge taylor & francis group. 2004. 471p.

WISNER, B. Vulnerability as concept, model, metric, and tool. *In: Oxford research encyclopedia of natural hazard science*. 2016.  
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.25>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION- WHO. **Young people's health - a challenge for society**. Report of a WHO study group on young people and health for all. Geneva: WHO, 1986. (Technical Report Series 731).

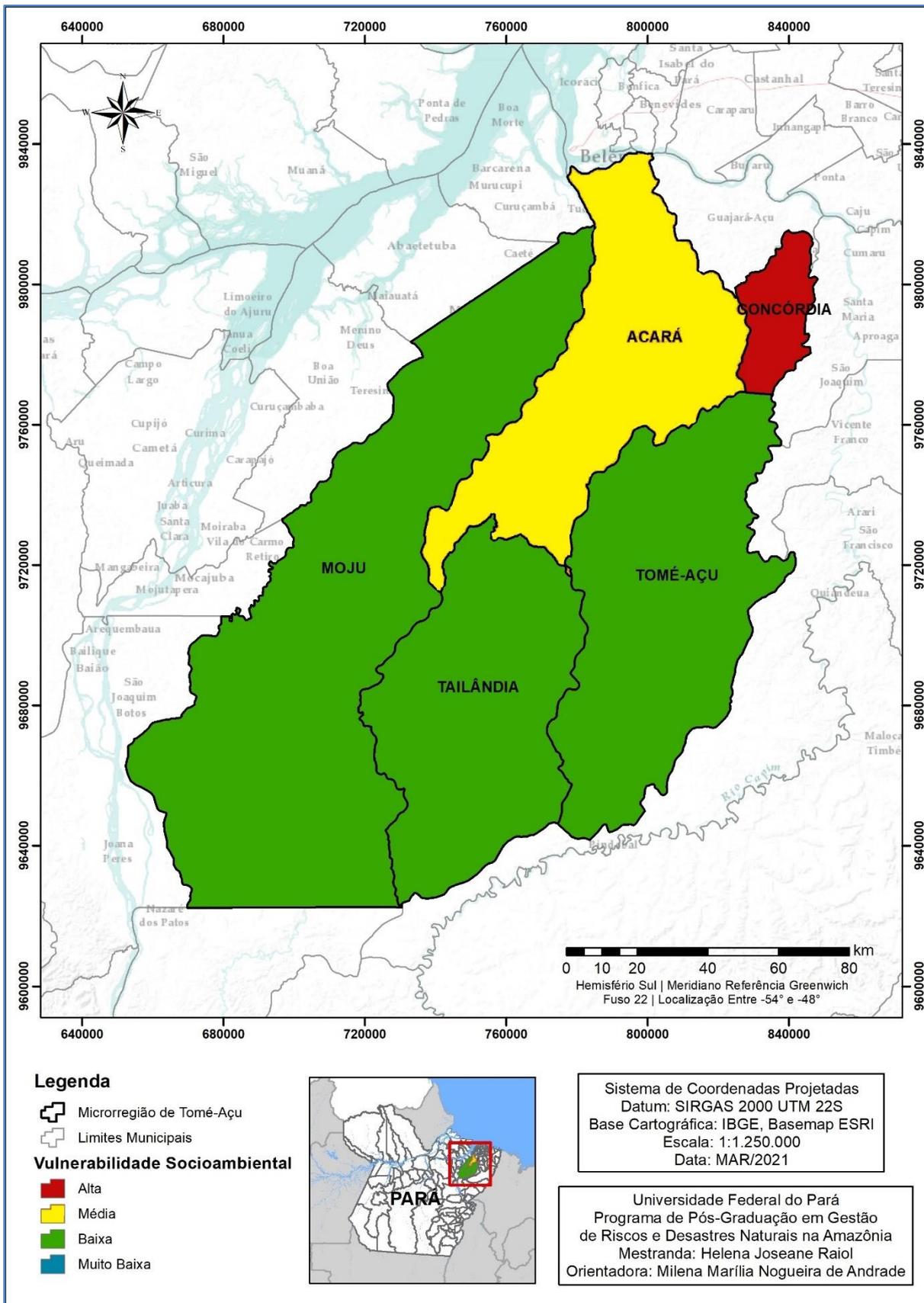
XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S. O planeta terra: aquecimento global e mudanças climáticas. **Boletim SBMET**, v.30, n.4, p.73-79, 2007.

XIMENES, Verônica Moraes *et al.* Sentimento de comunidade e pobreza rural no nordeste, norte e sul do Brasil. **Revista Subjetividades**, v. 19, n. 1, p. 02-08/2019, 2019.

YULIANTO, F. *et al.* Observing the inundated area using landsat-8 multitemporal images and determination of flood-prone area in Bandung basin. **International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)**, v. 15, n. 2, p. 131-140, 2019.

ZANELLA, M.E. *et al.* Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Cocó, Fortaleza-CE. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.25, n. 2, may. /aug. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200009>.

### APÊNDICE A - Mapa Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental da Microrregião Tomé-Açu a ameaça de Fogo.



## APÊNDICE B - Classificação de Vulnerabilidades Demográfica, Social e Ambiental que originaram o Mapa Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental para a MRTA.

Ao se sobrepor os resultados encontrados na MRTA para as vulnerabilidades demográficas (Figura B-1), Sociais (Figura B-2) e ambientais (Figura B-3) se construiu o mapa Indicador de Vulnerabilidade Socioambiental para a MRTA. Para a elaboração de cada mapa foram utilizadas as variáveis Densidade demográfica, população rural (Dimensão demográfica); grupos de vulneráveis por faixa etária, níveis de escolaridade (Dimensão Social); precipitação pluviométrica, uso do solo e focos de calor na MRTA (Dimensão ambiental), que são amplamente discutidas durante o trabalho.

Figura B-1: Mapa exibindo classificação de vulnerabilidade na Dimensão Demográfica

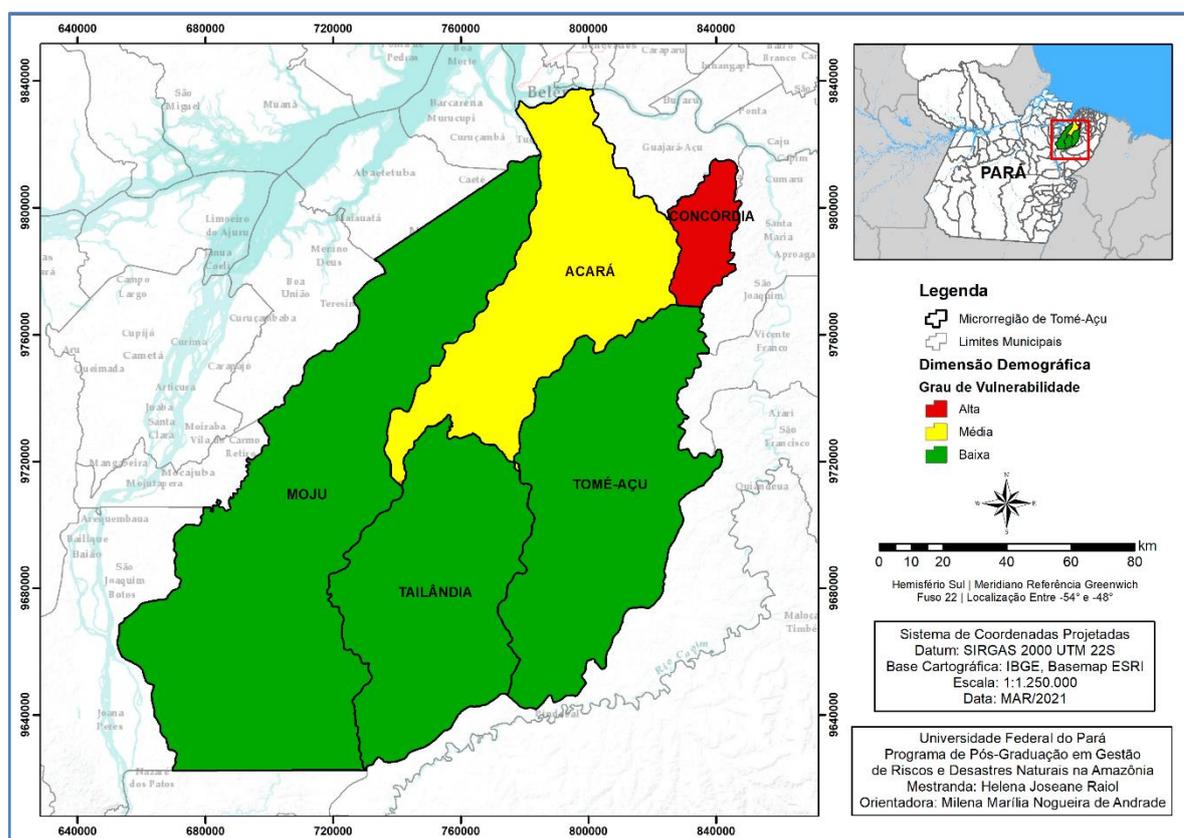


Figura B-2: Mapa exibindo classificação de vulnerabilidade na Dimensão Social.

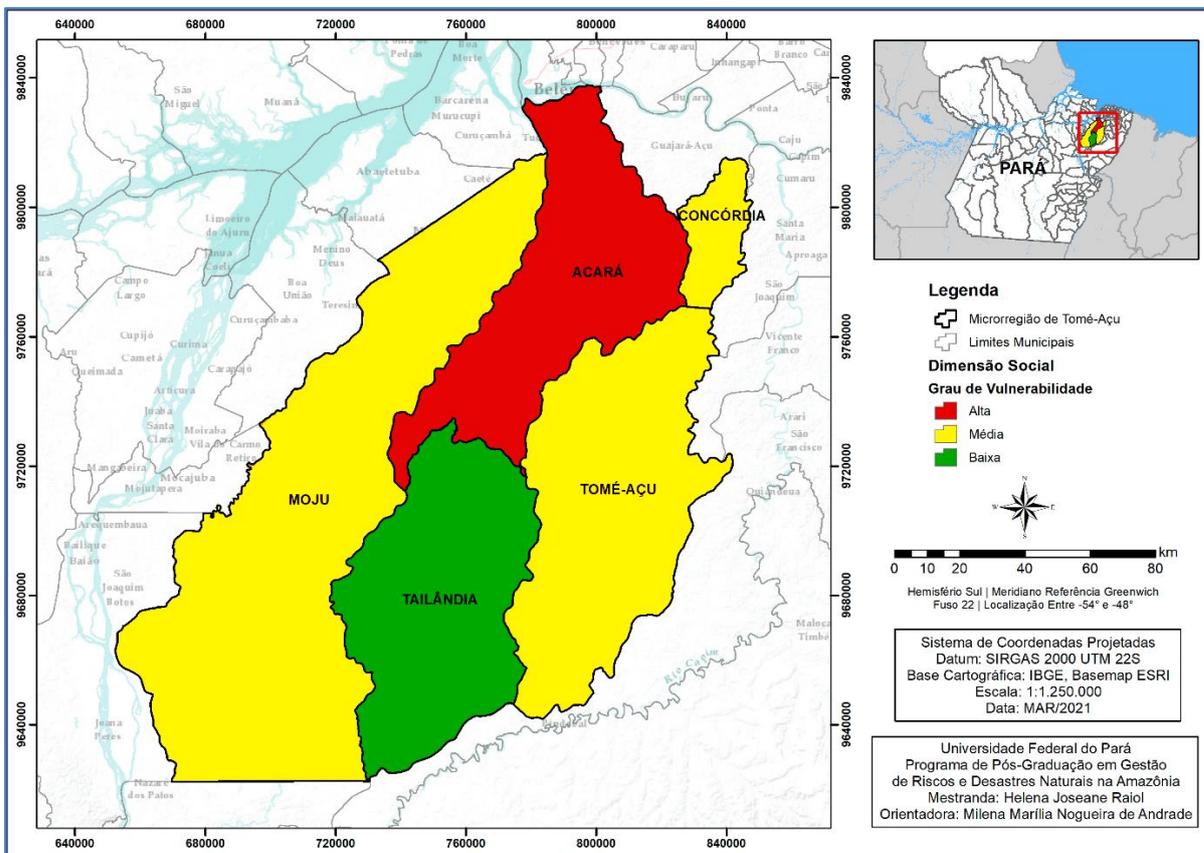


Figura B-3: Mapa exibindo classificação de vulnerabilidade na Dimensão Ambiental

