



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
EMBRAPA - UFPA - MPEG

DOUGLAS BATISTA DA SILVA FERREIRA

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E ANÁLISE DE RISCO AOS
EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARÁ**

BELÉM – PA

2020

DOUGLAS BATISTA DA SILVA FERREIRA

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E ANÁLISE DE RISCO AOS
EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador(a): Everaldo Barreiros de Souza

BELÉM – PA

2020

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)

F383v Ferreira, Douglas Batista da Silva
Vulnerabilidade socioambiental e análise de risco aos extremos
de precipitação no estado do Pará / Douglas Batista da Silva
Ferreira. — 2018.
116 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
Pará, Belém, 2018.

1. Vulnerabilidade. 2. Extremos Climáticos. 3. Precipitação.
4. Risco. 5. Municípios. I. Título.

CDD 551.5

DOUGLAS BATISTA DA SILVA FERREIRA

**VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL E ANÁLISE DE RISCO AOS EXTREMOS
DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARÁ**

Tese aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Aprovada em: 20/11/2018.

Banca examinadora:



Prof. Everaldo Barroiros de Souza – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA



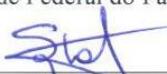
Prof. Edson José Paulino da Rocha – Membro Interno
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof.^a Ima Célia Guimarães Vieira – Membro Interno
Doutora em Ecologia
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG



Prof. Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes – Membro Externo
Doutor em Desenvolvimento Sustentável no Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof. Cláudio Fabian Szlafsztein – Membro Externo
Doutor em Ciências Naturais
Universidade Federal do Pará - UFPA

“Nunca deixe que alguém te diga que não pode fazer algo. Se você tem um sonho, tem que correr atrás dele. As pessoas que não podem fazer por si mesmas, dirão que você não consegue. Se quer alguma coisa, vá e lute por ela. Ponto final”

Adaptado do filme

“À Procura da Felicidade”

Dedico esta obra às pessoas que fazem parte da minha vida,
me orientando,
me apoiando,
me divertindo,
me amando e rezando pela minha saúde,
paz e felicidade:

minha avó,
meu pai,
minha mãe,
minha mulher e minha filha,
todos motivos da concretização deste feito.

Isso é por vocês!

Sem dúvida, pessoas essenciais na minha vida!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por guiar meus passos, por iluminar os meus caminhos, por me conceder oportunidades, me dar saúde, sabedoria e serenidade para superar os obstáculos diários. O Senhor é meu pastor e nada me faltará.

À Nossa Senhora de Nazaré, rainha de todos os paraenses, que cuida de mim e de toda a minha família.

Sou grato ao meu orientador, Everaldo Souza, a quem conheço desde 2005 como professor na época de graduação em Meteorologia. Após todos esses anos de parceria, tornou-se um grande amigo, sempre com ideias criativas para problemas aparentemente sem solução. Aprendi e continuo aprendendo muito com o meu orientador, que além de um excelente profissional é um pai exemplar.

Agradeço a minha mãe, Sandra, que é uma grandiosa mulher, dedicada, amorosa, carinhosa, inteligente, dona de uma força singular, maior incentivadora dos meus estudos e a melhor mãe que eu poderia ter. Se eu cheguei até aqui, agradeço a senhora. Obrigado, mãe.

Ao meu pai, Osmar, também é uma peça-chave na minha história de vida, sendo um homem único, um caráter sem igual, uma pessoa divertida e um grande amigo que sempre esteve ao meu lado quando eu precisei. Obrigado, pai.

À minha avó Nazaré, que dedica um amor incondicional a mim, amor este recíproco pela mulher que me criou desde pequeno, me ensinando que as coisas mais belas da vida são as mais simples. Minha admiração por essa velhinha de 83 anos é infinita. Obrigado vó, pelas orações diárias e por sempre estar ao meu lado.

À minha mulher Wanessa, o amor da minha vida, minha parceira há mais de 12 anos, mulher que me ouve, sorri comigo, chora comigo, divide bons e maus momentos da vida ao meu lado. Além da mulher que amo e amarei para o resto da vida, é uma grande amiga com quem posso contar em todas as ocasiões. Me deu no início deste ano o melhor título que eu poderia ter: ser pai. Pai de uma linda princesinha chamada Isabela, que tem o sorriso mais lindo do mundo. Agradeço as minhas princesas Wanessa e Isabela por me fazerem o homem mais feliz do mundo.

Agradeço ao meu irmão, Diogo, pela amizade de costume, por torcer pelo meu sucesso e por me atualizar sobre os games do momento neste ano que foi tão difícil me manter informado sobre assuntos que não sejam a tese de doutorado.

Agradeço a minha sogra, Dona Vera, mulher guerreira, que desde o início me trata como um filho, pôs no mundo a criança que hoje é a minha esposa, além de ajudar a cuidar da minha filha em muitos momentos, o que me possibilitou concluir minha tese de doutorado.

Ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), que consentiu minhas ausências no trabalho para participar de disciplinas do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), reuniões com meu orientador e estimulou o avanço dos meus estudos para almejar voos mais altos na carreira.

Ao meu tio Dudu, que é um grande amigo, que torce pelo meu sucesso e é uma pessoa com que eu posso contar.

Ao meu padrinho, Manoel, por rezar, torcer e me apoiar na vida pessoal e profissional.

À grande amiga, Maria, que cuidou de mim quando eu era criança e hoje ajuda a cuidar da minha filha. Uma pessoa por quem eu tenho um carinho especial e faz parte da minha vida.

Aos meus colegas meteorologistas do ITV, Giordani, Cláudia, Vânia, Juarez, Thiago, Elaine, Amanda e Alexandra. Desta turma saem boas discussões meteorológicas e boas risadas de assuntos cotidianos.

Não poderia esquecer de agradecer aqueles seres que nos dão amor e carinho, simplesmente por amar, obrigado à Juju (*in memorian*), Maumau (*in memorian*), Cissy (*in memorian*), Salsicha (*in memorian*), Salsichinha (*in memorian*), Akeem e Mayla... enfim, todos seres que fizeram e fazem parte da minha vida desde minha adolescência.

RESUMO

No contexto das temáticas científicas relacionadas as mudanças climáticas globais e regionais, os eventos climáticos extremos merecem destaque por representarem ameaças naturais à sociedade e aos ecossistemas. No Brasil, tais eventos associam-se primordialmente a escassez ou ao excesso de chuva, que exercem impactos diretos nos diversos setores da sociedade, sendo que as consequências tendem a ser mais graves nos locais com maior vulnerabilidade. Neste trabalho, apresenta-se uma abordagem interdisciplinar acerca da vulnerabilidade socioambiental (abrangendo as dimensões de suscetibilidade, capacidade de adaptação e de resposta) no estado do Pará, combinada com o fator exposição dos extremos climáticos (representados pelos eventos extremos associados a déficits e excesso de precipitação), visando ao final estabelecer um diagnóstico integrado do risco socioambiental/climático. A escala de análise é municipal e a metodologia objetiva baseada em indicadores de diferentes naturezas foram aplicados nos 143 municípios do estado do Pará. Deste modo, o risco socioambiental/climático (RISC) foi calculado em função do índice de extremos climáticos (EXTCLI) e do índice de vulnerabilidade socioambiental (V_{SA}), todos classificados em três categorias (baixo, médio e alto). Os resultados em termos da base municipal foram espacializados ao longo do estado e evidenciaram que as maiores frequências de EXTCLI localizam-se na porção nordeste (mesorregiões do Baixo Amazonas e Marajó). Os indicadores políticos relacionados a capacidade de resposta e capacidade adaptativa demonstraram um desempenho insatisfatório (categoria baixa), demonstrando ineficiência em legislação, ações e medidas de proteção a população mais vulnerável do ponto de vista imediato e de longo prazo. Na análise de risco, destacam-se nove municípios com RISC na categoria alto (a maioria localizado na ilha de Marajó), nos quais evidenciaram-se grau máximo tanto em termos de exposição, quanto em relação a vulnerabilidade para os municípios paraenses. Diante dos achados deste estudo, a abordagem da análise de RISC permitiu um diagnóstico integrado em escala municipal que é apropriada para auxiliar no planejamento de médio/longo prazo das ações de adaptação e mitigação frente as mudanças climáticas particularmente no estado do Pará.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Extremos Climáticos. Precipitação. Risco. Municípios.

ABSTRACT

In the context of scientific themes related to the global/regional climate change, the extreme climate events deserve special attention because they represent natural threats to society and ecosystems. In Brazil, such events are primarily associated with scarcity or excessive rainfall with direct impact on the various sectors of society, whose consequences tend to be more severe in cities with greater vulnerability. In the present work, we used an interdisciplinary approach about socio-environmental vulnerability (covering the dimensions of susceptibility, coping capacity and adaptive capacity), combined with the exposure factor of climatic extremes (represented by extreme events associated with deficits and excess precipitation), aiming at the end to establish an integrated diagnosis of socio-environmental/climatic risk in the state of Pará. The analysis scale is municipal and the objective methodology based on indicators of different natures was applied in the 143 municipalities along the state. The socio-environmental/climatic risk (RISC) was calculated according to the index of climatic extremes (EXTCLI) and the socio-environmental vulnerability index (V_{SA}), all classified into three categories (low, medium and high). The results in terms of the municipal base were spatialized throughout the state and showed that the highest frequencies of EXTCLI are located in the northeast portion (mesoregions of Baixo Amazonas and Marajó). The political indicators related to the coping and adaptive capacity showed an unsatisfactory performance (low category), showing inefficiency in legislation, actions and measures to protect the most vulnerable population from a short- and long-term point of view. In the risk analysis along the state, nine municipalities with RISC high category were highlighted (the majority located over the island of Marajó), in which a high category in terms of exposure and vulnerability was evidenced. Considering the findings of the present study, the RISC analysis approach allowed an integrated diagnosis on a municipal scale that is appropriate to subsidize the medium/long-term planning of the adaptation and mitigation actions in the face of climate change, particularly in the state of Pará.

Keywords: Vulnerability. Climatic Extremes. Rainfall. Risks. Municipalities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Médias de precipitação do período chuvoso (fevereiro a maio) em Belém-PA, destacando os valores das médias, desvio padrão, percentis e extremos. Dados INMET.21
- Figura 2 - Estrutura conceitual da tese com abordagem interdisciplinar da vulnerabilidade socioambiental integrada aos eventos climáticos extremos, resultando na análise de risco.....23
- Figura 3 - Mapa da área de estudo destacando a divisão política do estado do Pará, composta por 143 municípios e sete mesorregiões. Fonte: IBGE (2010).36
- Figura 4 - Climatologia (média 1998 a 2015) da precipitação nos municípios do estado do Pará para (a) média anual e (b) médias sazonais (DJF, MAM, JJA, SON). A escala de cores na parte inferior indica a magnitude em mm.60
- Figura 5 - Percentuais da precipitação sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) relativos ao total anual nos municípios do estado do Pará. A escala de cores na parte inferior indica a magnitude em %.....61
- Figura 6 - Frequência anual dos Extremos Climáticos (a) EXTSEC e (b) EXTCHU nos municípios do estado do Pará, durante o período de 1998 a 2015. A escala de cores na parte superior indica a magnitude em %.....62
- Figura 7 - Frequência sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) dos Extremos Climáticos (a) EXTSEC e (b) EXTCHU nos municípios do estado do Pará, durante o período de 1998 a 2015. A escala de cores na parte superior indica a magnitude em %.....63
- Figura 8 - Composições de DJF das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência Vdiv é 2 m/s.67
- Figura 9 - Composições de MAM das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência para Vdiv é 2 m/s...68

| | |
|---|----|
| Figura 10 - Composições de JJA das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência para Vdiv é 2 m/s...69 | |
| Figura 11 - Composições de SON das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência para Vdiv é 2 m/s...70 | |
| Figura 12 - Grau de Suscetibilidade dos municípios do estado do Pará. | 72 |
| Figura 13 - Gráfico com os valores normalizados dos indicadores, considerando os municípios que apresentaram suscetibilidade nos graus baixo, médio e alto. | 73 |
| Figura 14 - Valores médios dos indicadores de suscetibilidade para os 10 municípios com pior desempenho no eixo temático. | 75 |
| Figura 15 - Falta de capacidade de resposta nos municípios do estado do Pará. | 77 |
| Figura 16 - Gráfico com os valores normalizados dos indicadores, considerando os municípios inseridos em cada grau de falta de capacidade de resposta..... | 78 |
| Figura 17 - Valores médios dos indicadores do eixo temático capacidade de resposta para os 10 municípios com pior desempenho..... | 79 |
| Figura 18 - Falta de capacidade adaptativa nos municípios do estado do Pará..... | 81 |
| Figura 19 - Gráfico com os valores normalizados dos indicadores, considerando os municípios inseridos em cada grau de falta de capacidade adaptativa. | 82 |
| Figura 20 - Valores médios dos indicadores do eixo temático capacidade de adaptativa para os 10 municípios com pior desempenho..... | 83 |
| Figura 21 - Grau de vulnerabilidade nos municípios do estado do Pará..... | 85 |
| Figura 22 - Valores médios dos indicadores de cada eixo temático para (a) os todos os municípios paraenses e (b) os 10 com maior grau de vulnerabilidade. | 87 |
| Figura 23 - Mapa de (a) EXTSEC, (b) EXTCHU e (c) ambos combinados para os municípios do estado do Pará. | 90 |
| Figura 24 - Grau de Risco Socioambiental e Climático no estado do Pará..... | 92 |
| Figura 25 - Gráfico de dispersão dos valores normalizados de Risco e Vulnerabilidade. | 94 |

Figura 26 - Gráfico de dispersão dos valores normalizados de Risco e Exposição.95

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Lista com o código e nome dos 143 municípios do Pará, conforme IBGE (2010)..... | 35 |
| Tabela 2 - Lista de 34 indicadores por tema e dimensão de vulnerabilidade..... | 48 |
| Tabela 3 - Lista das bases de dados pluviométricos utilizados para o cálculo de extremos climáticos. | 51 |
| Tabela 4 - Valores e intervalos obtidos no método dos quantis para I_{SU} , I_{CR} , I_{CA} e V_{SA} , considerando os valores médios dos municípios. | 54 |
| Tabela 5 - Intervalos de desempenho para definição do grau da frequência de extremos climáticos. | 56 |
| Tabela 6 - Matriz de Risco Socioambiental e Climático (RISC). onde $RISC < 0,1875$ representa risco baixo (cor verde), $RISC \geq 0,1875$ e $RISC < 0,375$ representa risco médio (cor amarela), e $R \geq 0,375$ indica risco alto (cor marrom). | 57 |
| Tabela 7 - Quantidade total de municípios do Pará com registro de EXTCHU e EXTSEC nos trimestres de DJF, MAM, JJA e SON no período de 1998 a 2015..... | 64 |
| Tabela 8 - 10 municípios paraenses com maior grau de suscetibilidade..... | 74 |
| Tabela 9 - 10 municípios paraenses com maior falta de capacidade de resposta..... | 79 |
| Tabela 10 - 10 municípios paraenses com maior falta de capacidade adaptativa. | 83 |
| Tabela 11 - 10 municípios paraenses com maior grau de vulnerabilidade. | 86 |
| Tabela 12 - 10 municípios do Pará classificados com maior grau de risco. Destaque em negrito para os valores entre os 10 maiores em cada dimensão avaliada..... | 93 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADHB – Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil

AGU – Percentual da população que vive em domicílios com água encanada

ANA – Agência Nacional de Águas

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANF – Taxa de analfabetização para maiores de 15 anos

CFE – Percentual de crianças entre 6 e 14 anos de idade que estão fora da escola

CHI (γ) – Letra grega que representa a vorticidade potencial

CHIRPS – Climate Hazards Group InfraRed Precipitation

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CPC – Climate Prediction Center

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

CVZ – Conexão de voz

DAG – Desperdício de Água

DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

DEG – Percentual de áreas degradadas

DEN – Número de casos de dengue

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DJF – Dezembro, Janeiro e Fevereiro

DMT – Percentual do desmatamento acumulado

ENE – Percentual da população em domicílios com energia elétrica

ENOS – El Niño Oscilação Sul

ERD – Estrutura local para resposta a desastres

ESG – Esgotamento sanitário

EXP – Expectativa de vida ao nascer

EXTCHU – Extremo Climático Chuvoso

EXTCLI – Extremos climáticos, representados pela soma da frequência de EXTSEC e EXTCHU

EXTSEC – Extremo Climático Seco

FPD – Ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres

GIN – Índice de Gini

GTS – Global Telecommunication System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

I_{CA} – Índice de Capacidade Adaptativa

I_{CR} – Índice de Capacidade de Resposta

IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IMC – Índice de Massa Corporal

IMU – Taxa de imunizações

IN – Valor normalizado do indicador

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INT – Conexão de dados e internet móvel

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

I_{SU} – Índice de Suscetibilidade

JJA – Junho, Julho e Agosto

LIH – Leitos de internação em hospitais a cada 1000 habitantes

LIP – Legislação e instrumentos de planejamento

LIX – Percentual da população em domicílios com coleta de lixo

MAM – Março, Abril e Maio

MDI – Mortalidade por doenças infecciosas

MDR – Mortalidade por doenças respiratórias

MED – Razão de médicos para cada 1000 habitantes

MERGE – Combinação de precipitação do TRMM com observações de superfície

MRR – Medidas estruturais para reduzir risco de desastres

MS – Ministério da Saúde

MSU – Mortalidade por subnutrição

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

OMM – Organização Meteorológica Mundial

ONI – Número de ônibus por 1000 habitantes

PIB – Produto Interno Bruto

PIN – Percentual de pessoas em domicílios com paredes que não sejam de alvenaria ou madeira aparelhada

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PRODES – Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia

PTG – Percentual de áreas protegidas

PVD – População vulnerável a desastres cadastradas em programas habitacionais

RDP – Razão de dependência
RISC – Risco Socioambiental e Climático
ROL – Radiação de Onda Longa
RPC – Renda per capita
SAEB – Sistema de Avaliação da Educação Básica
SINAN – Sistema de Informações de Agravos de Notificação
SON – Setembro, Outubro e Novembro
SPI – Standard Precipitation Index
SUB – Subnutrição
SUP – Pessoas acima de 25 anos de idade com ensino superior
SUS – Sistema Único de Saúde
SYNOP – Surface Synoptic Observations
TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM – Temperatura da Superfície do Mar
UNEP – United Nations Environment Programme
UTC – Universal Time Coordinate
 V_{DIV} – Vento Divergente
 V_{SA} – Índice de Vulnerabilidade Socioambiental
VUP – Percentual de vulnerabilidade à pobreza
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.1 Interdisciplinaridade da pesquisa | 23 |
| 1.2 Objetivos | 24 |
| 1.3 Estrutura da tese | 24 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 26 |
| 2.1 Extremos climáticos globais e regionais | 26 |
| 2.2 Risco e vulnerabilidade socioambiental | 28 |
| 2.3 Índices e indicadores de vulnerabilidade | 32 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 34 |
| 3.1 Área de estudo e unidade de análise | 34 |
| 3.2 Bases de dados | 37 |
| 3.2.1 Indicadores socioeconômicos e ambientais..... | 37 |
| 3.2.2 Dados climáticos | 49 |
| 3.3 Métodos e procedimentos de análise..... | 52 |
| 3.3.1 Avaliação do grau de vulnerabilidade | 52 |
| 3.3.2 Índice SPI e seleção de eventos climáticos extremos..... | 54 |
| 3.3.3 Avaliação do grau de risco aos extremos climáticos..... | 56 |
| 4 RESULTADOS | 59 |
| 4.1 Análise dos extremos de precipitação..... | 59 |
| 4.1.1 Configuração espacial da precipitação climatológica e dos extremos climáticos..... | 59 |
| 4.1.2 Mecanismos climáticos associados aos eventos extremos | 63 |
| 4.2 Vulnerabilidade e avaliação do risco climático-sócio-ambiental | 71 |
| 4.2.1 Análise integrada da vulnerabilidade | 71 |
| 4.2.1.1 Suscetibilidade | 71 |
| 4.2.1.2 Capacidade de resposta | 75 |
| 4.2.1.3 Capacidade adaptativa..... | 80 |
| 4.2.1.4 Vulnerabilidade socioambiental | 84 |
| 4.2.2 Análise de risco diante dos extremos climáticos..... | 88 |

| | |
|--|------------|
| 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO | 96 |
| 5.1 Discussão | 96 |
| 5.2 Conclusão | 98 |
| 5.3 Contribuições e implicações para as ciências ambientais da Amazônia | 100 |
| 5.4 Prioridades para pesquisas futuras | 101 |
| REFERÊNCIAS..... | 103 |

1 INTRODUÇÃO

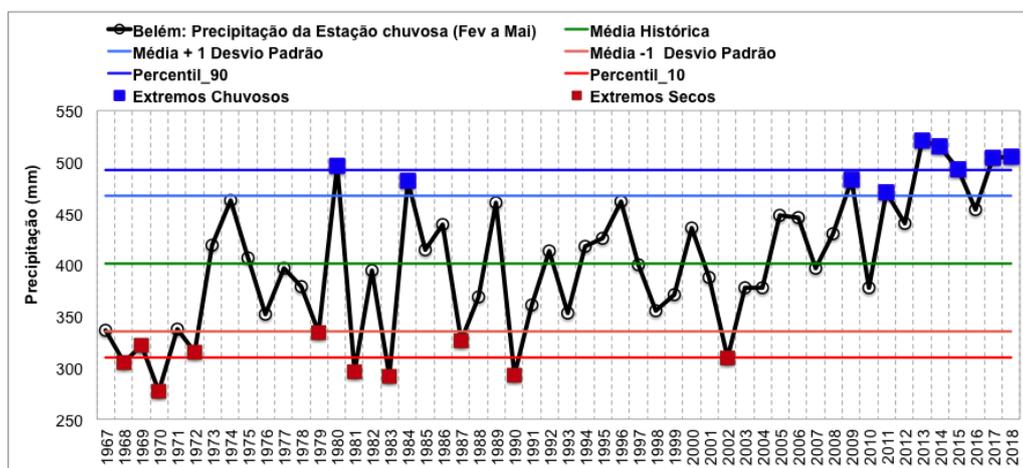
Desde a origem da Terra até os dias atuais, o clima e suas variações têm exercido um papel determinante na constituição do planeta, no que concerne a distribuição dos biomas naturais, ciclo das águas, evolução e adaptação das espécies de fauna e flora, processos físicos e ambientais em escalas regional a global, enfim, na manutenção da vida terrestre.

O conceito de clima relaciona-se à sucessão de diferentes estados de tempo meteorológico que se processam na atmosfera de uma região durante determinado período. Logo, o clima pode ser definido como o comportamento médio dos elementos climáticos (vento, temperatura do ar, precipitação, dentre outras variáveis) em um determinado lugar (VAREJÃO-SILVA, 2006). Para o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), o clima é geralmente definido como “tempo meteorológico médio”, ou mais precisamente, como as estatísticas (média, variância, etc.) de quantidades relevantes de mudanças do tempo meteorológico em um período de tempo, que vai de meses, anos a décadas (IPCC, 2007). O período clássico para caracterizar o clima de uma região é uma média compreendendo pelo menos 30 anos de dados, conforme preconiza a Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

Dentro da troposfera (camada de ar e gases que envolve o planeta desde a superfície terrestre até aproximadamente 10 a 12 km de altura) ocorrem os fenômenos meteorológicos e mecanismos climáticos que estão relacionados a circulação geral, regional e local da atmosfera, os quais são responsáveis em grande parte pelas variações, oscilações ou variabilidade climática. Assim, o amplo espectro das variações ou variabilidades que ocorrem no espaço (escala local, regional, continental e global) e tempo (escala diária, semanal, mensal, anual, decadal e secular) são características intrínsecas e marcantes do clima. Em geral, a variabilidade climática é definida como uma flutuação em torno da média histórica ou normal climatológica. Quando tais flutuações se distanciam significativamente da média, tem-se a ocorrência de um extremo climático (MARENGO *et al.*, 2009). Como exemplo, a Figura 1 ilustra as médias de precipitação do período chuvoso (média de fevereiro a maio) em Belém-PA nos anos de 1967 até 2018, na qual visualizam-se grandes oscilações em torno da média histórica, sendo que consideram-se como anos normais (dentro do padrão de variabilidade) aqueles que apresentam valores entre -1 e +1 desvio padrão. Nota-se ainda na Figura 1, alguns anos com valores acima (abaixo) do limiar de +1 (-1) desvio padrão ou acima (abaixo) do percentil 90% (10%), os quais podem ser definidos como anos de ocorrência de extremos climáticos chuvosos (secos). Tais eventos

extremos exercem impactos diretos na população que invariavelmente sofre com danos ou perdas, sejam econômicas, materiais ou até mesmo humanas. Nesta tese de doutorado, a variável precipitação será utilizada para representar os extremos climáticos secos e chuvosos.

Figura 1 - Médias de precipitação do período chuvoso (fevereiro a maio) em Belém-PA, destacando os valores das médias, desvio padrão, percentis e extremos. Dados INMET.

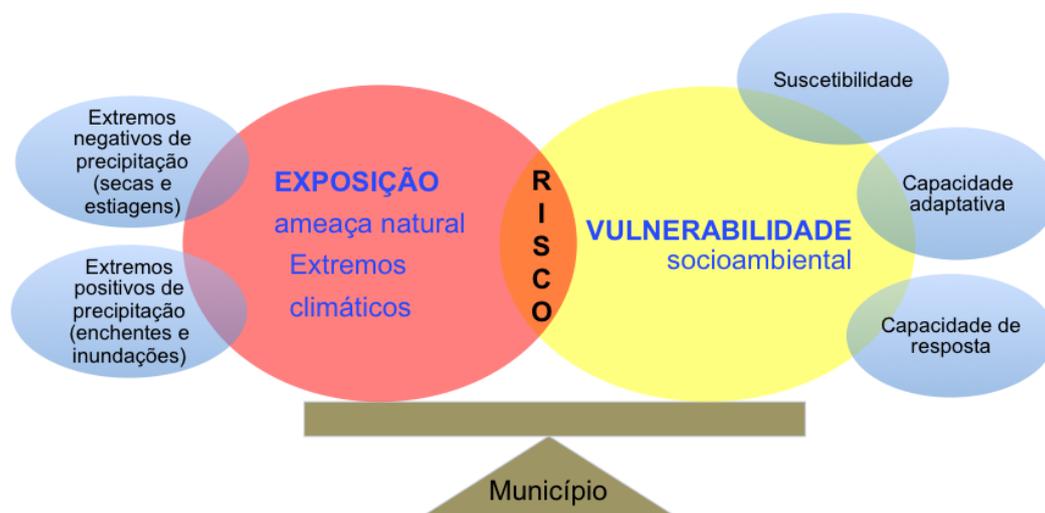


Fonte: Do autor.

Em particular, o estado do Pará vem experimentando a ocorrência de episódios climáticos extremos, tanto de excesso, quanto de déficit pluviométrico, de modo que a população tem sofrido com as secas e estiagens intensas e duradouras ou períodos chuvosos fortes e prolongados associados a enchentes e inundações. Em ocasiões de períodos com pluviosidade escassa, os níveis fluviométricos baixam consideravelmente, a agricultura é severamente prejudicada e as pessoas que dependem da pesca, da produção de alimentos, ou até mesmo da própria água dos rios para a subsistência são impactadas negativamente. Por outro lado, em condições de pluviosidade excessiva, os municípios com área urbana maior e infraestrutura e serviços públicos inadequados são impactados nas dimensões sociais e econômicas, a exemplo do maior número de casos de doenças tropicais transmitidas por insetos vetores, prejuízos materiais devido o alagamento de vias e residências, quedas de árvores e potenciais perdas de vidas humanas. Tais situações são anualmente e sazonalmente recorrentes nos municípios paraenses, visto que alguns são caracterizados com uns dos mais pobres do país (MACIEL; CAVALCANTE-FILHO; SOUZA, 2014; SANTOS *et al.*, 2014) e com frequência elevada de extremos climáticos (SANTOS; MELO; BRITO, 2016; SILVA, 2010).

Portanto, torna-se relevante a inclusão da análise da vulnerabilidade nos estudos que abordam os extremos climáticos, ampliando o escopo científico de forma a permitir uma avaliação integrada dos riscos sócio/econômico/ambiental/climático de um determinado local (população e ambiente). Esta temática é a que norteia a presente pesquisa, cuja base científica engloba de forma integrada os conceitos de exposição, vulnerabilidade e análise de risco, conforme ilustra a Figura 2, seguindo metodologias reportadas por Szlafsztein e Reis (2012) e De Almeida, Welle e Birkman (2016). A escala ou unidade de análise é o município, ou seja, considera-se os municípios do estado do Pará como o sistema alvo da pesquisa, cuja dinâmica social abrange diversos fatores/indicadores de economia, saúde, educação, habitação, comunicação, política e meio ambiente, os quais determinam a vulnerabilidade socioambiental. O sistema é exposto à fenômenos externos (extremos climáticos representados por anomalias positivas/negativas de precipitação) que afetam diretamente o equilíbrio socioeconômico e ambiental local e assim são considerados como uma exposição ou ameaça natural ao sistema. Contudo, tal sistema pode apresentar vulnerabilidade socioambiental em um grau baixo (bons indicadores de educação, saúde, economia, habitação, política e meio ambiente que resultam num grau baixo de suscetibilidade e capacidades de resposta e adaptativas adequadas), caracterizando-o como mais resistente a concretização de uma ameaça ou exposição. Neste primeiro caso, tem-se caracterizado um risco socioambiental/climático baixo. Por outro lado, uma condição oposta com vulnerabilidade em grau alto (má qualidade na educação, inexistência de políticas públicas de prevenção à desastres naturais, baixo rendimento econômico, saúde deficitária, acesso inadequado aos bens e serviços públicos que acarretam em uma alta suscetibilidade e capacidades de resposta e adaptativas inadequadas/insuficientes) condiz o sistema como sendo menos resistente a ocorrência da ameaça e predisposto a sofrer danos/perdas significativas. Este segundo caso denota o risco socioambiental/climático com grau alto.

Figura 2 - Estrutura conceitual da tese com abordagem interdisciplinar da vulnerabilidade socioambiental integrada aos eventos climáticos extremos, resultando na análise de risco.



Fonte: Do Autor

Estudos com essa abordagem são de certa forma escassos, notadamente para um estado com ampla extensão territorial como o Pará, cujos resultados certamente podem contribuir para geração de conhecimento útil ao planejamento de ações de adaptação e mitigação frente as mudanças climáticas. Assim sendo, o diagnóstico do grau de exposição, vulnerabilidade e risco em escala municipal representa um avanço no conhecimento científico sobre o assunto, caracterizando o ineditismo da tese.

1.1 Interdisciplinaridade da pesquisa

A interdisciplinaridade é essencial para o desenvolvimento e inovações em pesquisas científicas. No mundo real, o conhecimento teórico de áreas distintas é integrado em situações cotidianas e se dá pela união e compartilhamento de saberes e métodos. Assim, pesquisas que envolvem a averiguação de como os diferentes conhecimentos se conectam, resultam em novas abordagens teórico-metodológicas e contribuem com a formulação de novos paradigmas (BARRA, 2013). Além de demonstrar avanços, uma pesquisa interdisciplinar também precisa resolver problemas recorrentes que, quando solucionados, resultarão na geração de conhecimento científico que possa ser efetivamente aplicado em benefício da sociedade.

Neste contexto, a presente pesquisa de tese de doutorado busca conectar o conhecimento de temas das ciências humanas e sociais (aspectos socioeconômicos e políticos) com variáveis das geociências e geografia física (ocorrência de extremos climáticos e indicadores ambientais), cuja integração de saberes e conceitos permitem a condução da pesquisa sobre exposição, vulnerabilidade e análise integrada de risco socioambiental/climático nos municípios do estado do Pará.

1.2 Objetivos

Investigar em escala municipal no estado do Pará, a distribuição espacial dos extremos climáticos de precipitação, da vulnerabilidade socioambiental e do risco resultante da combinação de ambos.

Objetivos específicos:

- Calcular e mapear a frequência de extremos climáticos secos e chuvosos para os municípios paraenses durante o clima atual, bem como investigar os mecanismos climáticos associados;
- Analisar o grau de vulnerabilidade socioambiental, considerando indicadores multidimensionais agregados em metodologia interdisciplinar para os municípios paraenses;
- Elaborar a análise de risco socioambiental/climático para os municípios paraenses durante o clima atual.

1.3 Estrutura da tese

Esta tese foi estruturada no formato tradicional, com os seguintes itens:

- 1 - Introdução geral acerca da motivação e importância dos temas tratados, justificativa e descrição do escopo interdisciplinar em ciências ambientais, bem como da hipótese da pesquisa e objetivos propostos;
- 2 - Referencial teórico sobre extremos climáticos globais e regionais, risco e vulnerabilidade socioambiental e índices e indicadores de vulnerabilidade;
- 3 - Descrição dos dados e metodologias empregados;

4 - Resultados que são apresentados em três partes, todas focadas no estado do Pará, considerando a escala municipal, que consistem de: a) Análise espacial da frequência de extremos climáticos denotados por anomalias positivas/negativas de precipitação que retratam os eventos secos/chuvosos durante o clima atual, incluindo os mecanismos climáticos responsáveis pela ocorrência dos extremos de precipitação; b) Diagnóstico da vulnerabilidade socioambiental expressa em termos dos indicadores distribuídos entre os eixos de Suscetibilidade, Capacidade de Resposta e Capacidade Adaptativa; e c) Análise de risco socioambiental/climático integrando os resultados obtidos sobre o grau de exposição dos extremos climáticos e vulnerabilidade;

5 - Discussões e conclusões da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Extremos climáticos globais e regionais

Os sistemas ambientais podem ser caracterizados por serem altamente dinâmicos e por apresentar uma variabilidade natural em seu ritmo. Alguns eventos naturais não oscilam muito em relação à média, de maneira que, a sociedade é capaz de se adaptar mais facilmente às consequências dos mesmos (GONÇALVES, 2003). Outros eventos são mais raros, dos quais fazem partes os extremos, anômalos ou excepcionais. Por definição, as características do que é chamado clima extremo pode variar de lugar para lugar em um sentido absoluto. Quando um padrão de clima extremo persiste por algum tempo, como uma estação do ano, pode ser classificado como um evento climático extremo, especialmente, se produz uma média ou um total que é por si só um valor extremo (por exemplo, secas ou chuvas fortes durante uma estação do ano) (IPCC, 2007). Este tipo de episódio pode ser definido estatisticamente como uma ocorrência que se distancia da média e que apresenta uma incidência mais rara, podendo ter diversos graus de magnitude (SEREWITZ; PIELKE, 2000). Segundo o IPCC, um extremo climático é um evento que é raro em um determinado lugar e momento (IPCC, 2007). As definições de “raro” variam, mas um evento climático extremo normalmente seria tão raro quanto ou mais raro do que o percentil 10 ou 90 da função de densidade de probabilidade observada.

Um olhar para o passado mostra que extremos climáticos fazem parte da história da humanidade, desde os seus primórdios, decidindo destinos de populações e sua migração pelos continentes (DIAMOND, 1999). Nos dias atuais, com uma população crescente e uma urbanização mais acentuada, as pessoas mais carentes passam a ocupar até mesmo áreas de risco, de maneira que os extremos provocam impactos nunca observados (SILVA DIAS, 2014).

Atualmente, é aceito pela comunidade científica o fato do homem ser responsável pelas mudanças do clima desde o final do século passado, e que tais mudanças têm implicações significativas para as sociedades e economias (BRUCE; LEE; HAITES, 1996; HOUGHTON *et al.*, 1996; WATSON; ZINYOWERA; MOSS, 1996). Uma prova disso foi a preocupação internacional com as mudanças climáticas globais, com a maior frequência de extremos climáticos e suas consequências terem reflexo direto na Conferência das Nações Unidas em Meio Ambiente e Desenvolvimento, que criou uma Convenção-Quadro sobre Mudanças

Climáticas, assinada por 154 países, muitos dos quais têm planos nacionais para mitigar os impactos dos extremos climáticos (SMITHERS; SMIT, 1997).

A conscientização pública sobre a ameaça dos extremos climáticos tem aumentado nitidamente nos últimos anos, em parte devido a maior atenção dada pela mídia às catástrofes naturais, como as enchentes, inundações, secas, tempestades, ondas de calor e períodos duradouros de frio. Há também uma percepção geral de que o número de eventos extremos vem aumentando em todo o mundo. Os mais recentes registros descritos no Relatório Anual do Clima Global e Catástrofes apontam um total U\$210 bilhões de perdas econômicas em 2016 em virtude de desastres naturais, 21% a mais que a média neste século. Tais perdas foram atribuídas a 315 eventos (a média é de 271 em 16 anos), como grandes terremotos no Japão, ao Furacão Matthew nos Estados Unidos e no Caribe, inundações catastróficas na China, Europa, Estados Unidos e Brasil, incêndios florestais no Canadá, entre outros (AON, 2017).

No Brasil, os extremos climáticos são frequentemente associados a tempestades duradouras, períodos secos e chuvosos mais intensos e prolongados. Em 2004, foi registrado um caso excepcional da ocorrência de um furacão no Oceano Atlântico Sul, o Catarina, que se desenvolveu a partir de um ciclone extratropical, provocando enchentes, deslizamentos e causou diversas mortes, assim como perdas econômicas significativas para a Região Sul do país (RUDORFF; BONETTI; MORENO, 2005). Nos últimos anos no Brasil, ocorreram diversos eventos extremos: enchentes causaram enormes desastres econômicos e tiraram muitas vidas humanas; e secas comprometeram o fornecimento de energia para cidades inteiras, consequentemente, causando grandes prejuízos econômicos (MARENGO, 2015).

No início do século XXI, vem sendo registrados na Amazônia eventos hidrometeorológicos anormalmente secos e chuvosos na intensidade e duração, os quais representaram um potencial impacto na população. Por exemplo, nas secas de 2005 e 2010, a navegação pelos rios amazônicos foi severamente prejudicada, uma vez que os níveis fluviométricos atingiram patamares tão baixos que forçaram regiões a declararem estado de emergência, até mesmo na Amazônia não-brasileira, como no Peru, Colômbia e Bolívia (LEWIS *et al.*, 2011; MARENGO *et al.*, 2008; MARENGO *et al.*, 2011; ZHENG *et al.*, 2008).

Por outro lado, em 2009 e 2012, as enchentes elevaram os níveis dos rios Negro e Solimões, causando inundações em áreas urbanas próximas às encostas e desalojando centenas de pessoas (MARENGO *et al.*, 2013). Em 2014, o nível do Rio Madeira atingiu o nível recorde

de 19,69 metros e desalojou mais de 20 mil pessoas em Porto Velho (RO) (GERMANO *et al.*, 2015).

A Defesa Civil passou a monitorar o rio Acre devido a dois acontecimentos em anos subsequentes à eventos extremos. Em 2015, o rio atingiu a cota máxima histórica de 18,40 metros e desabrigou mais de 9 mil pessoas só na capital e afetou 87 mil em todo estado; já em 2016 ocorreu a pior seca registrada desde 1970.

Na Amazônia oriental, a seca nos rios do sudeste do Pará atingiu marcas históricas no segundo semestre de 2017, e o nível do rio Tocantins, cuja variabilidade é relacionada aos padrões climáticos dos oceanos adjacentes (CAPOZZOLI; CARDOSO; FERRAZ, 2017), apresentou valores mínimos históricos na bacia, após meses sem registros de precipitação.

Em Belém, maior metrópole do leste da Amazônia, os extremos secos (chuvosos) relacionam-se aos anos de El Niño (La Niña) e o alagamento das ruas é uma das principais consequências. A falta de infraestrutura da cidade foi identificada como fator predominante para a exposição do município aos impactos das fortes chuvas (CAMPOS; MOTA; SANTOS, 2015).

Essa variabilidade nos padrões de precipitação é alvo de vários estudos na região amazônica, sendo tais flutuações atribuídas às anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Tropical (COELHO; UVO; AMBRIZZI, 2002; DE SOUZA *et al.*, 2000), relacionadas aos anos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), e no Oceano Atlântico Tropical associadas às fases do gradiente meridional de anomalias TSM (DE SOUZA *et al.*, 1998; DE SOUZA *et al.*, 2005), ou à presença combinada de ambos (RONCHAIL *et al.*, 2002).

Diante do exposto, é notório que os eventos climáticos extremos estão cada vez mais frequentes na Amazônia, e se o tempo de retorno de tais valores extremos for cada vez menor (como no caso do Acre, por exemplo), o equilíbrio socioambiental regional e local pode ser alterado de modo irreversível (IPCC, 2013). Para este estudo, os extremos climáticos de precipitação serão abordados considerando somente a ocorrência do evento *in loco*, ou seja, sem inserir a análise da variação dos níveis fluviométricos influenciados pela pluviosidade na cabeceira de bacias hidrográficas.

2.2 Risco e vulnerabilidade socioambiental

Os extremos climáticos oferecem risco à população que é mais vulnerável. Para este estudo, entende-se como população vulnerável aquela em condições inadequadas de moradia,

ausência de saneamento básico, saúde e alimentação deficitárias, além de baixo nível educacional e poder aquisitivo, sendo essa camada da sociedade aquela menos resiliente aos impactos meteorológicos naturais. Destaca-se que, nas áreas urbanas periféricas há uma maior concentração de pessoas em risco, justamente por evidenciarem as condições citadas acima. Em consequência disso, estão mais expostas a fenômenos naturais catastróficos, tais como deslizamentos de terra e/ou inundações. Logo, nestas áreas encontra-se maior quantidade de domicílios atingidos, famílias desabrigadas e, em alguns casos, vítimas fatais (ESTEVEES, 2011; MARENGO *et al.*, 2013, MENDONÇA, 2004).

De modo geral, o risco é a probabilidade de que a materialização de um desastre ou uma ameaça provoque a perda de vidas, pessoas desabrigadas ou desalojadas, danos a edificações, e as atividades socioeconômicas, entre outros (PELLETIER, 2007). Um desastre ou ameaça natural está associado(a) à frequência natural do perigo, recorrência e magnitude em relação a população mais exposta e vulnerabilidade de infraestrutura. Na Amazônia Brasileira, as ameaças afetam negativamente a região cujo desenvolvimento ainda apresenta muitos problemas não resolvidos, particularmente no que diz respeito às atividades econômicas e ambientais da população mais vulnerável (SZLAFSZTEIN, 2012).

A definição de risco vai muito além da questão ambiental, cujo conceito foi amplamente abordado por diversos autores (BRUSEKE, 1997; ESTEVEES, 2011; MENDONÇA, 2004). Em muitos casos, o termo “risco” é substituído ou associa-se a potencial, susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais. Na maioria das vezes, o risco é relacionado a acidentes naturais, segurança pessoal, saúde, condições de habitação, trabalho, transporte, condição da criança e do adolescente, violência, investimentos financeiros, enfim ao cotidiano da sociedade moderna (ESTEVEES, 2011).

Conforme sua origem, tais riscos podem ser classificados em três categorias: o risco tecnológico, relacionado aos processos produtivos e da atividade agrícola, científica e industrial; o risco natural, ligado aos processos e eventos de origem natural ou induzido por atividades humanas, de conotação ambiental ou socioambiental; e o risco social, fruto das atividades humanas, incluindo os aspectos econômicos, militares e os relacionados à saúde (CASTRO; PEIXOTO; PIRES DO RIO, 2005; JANCZURA, 2012; MENDONÇA, 2004; WISNER, 1999).

A noção de risco ambiental liga-se às ciências da natureza e às ciências da sociedade, e conduz a uma abordagem dos riscos urbanos como produto combinado de um fenômeno aleatório e de uma vulnerabilidade (DUBOIS-MAURY; CHALINE, 2002). Dagnino e Carpi

Júnior (2007) consideram risco como a probabilidade de que um evento, esperado ou não, se torne realidade, e definiram risco ambiental como sendo a fusão das noções aceitas popularmente, em que se une a percepção das pessoas com os conceitos já estabelecidos na literatura sobre o tema. Os riscos naturais ou ambientais expõem as parcelas da população vulneráveis a eventos dessa natureza.

O termo vulnerabilidade, por sua vez, tem origem no potencial de perda e pode ser entendido como a suscetibilidade, por parte do ser humano, a um perigo ou dano (BRAGA; OLIVEIRA; GIVISIEZ, 2006; CUTTER, 2011) ou ainda, pode ser tomado como a probabilidade de um indivíduo ou uma população ser afetada negativamente por um evento natural/ambiental (DESCHAMPS, 2004). A vulnerabilidade de uma população, segundo Pelling e Uitto (2001), é produto da exposição física a um perigo natural, da capacidade humana de se preparar para desastres ou mitigar e recuperar-se dos seus impactos negativos.

Deste modo, a vulnerabilidade envolve um conjunto de fatores que podem diminuir ou aumentar o risco no qual o ser humano, individualmente ou em grupo, está exposto a diversas situações, que podem ser de cunho natural como fortes chuvas, enchentes, deslizamentos, secas prolongadas ou de origens diversas como doenças, recessão econômica, violência social, entre outros (ESTEVES, 2011).

Embora os conceitos estejam intrinsecamente próximos, a vulnerabilidade é diferente de risco. Enquanto o risco implica na exposição a perigos externos em relação aos quais as pessoas têm controle limitado, a vulnerabilidade mede a capacidade de combater tais perigos sem que se sofra, a longo prazo, uma perda de bem-estar (PNUD, 2007).

De acordo com Marandola Jr. e Hogan (2006), a vulnerabilidade ocorre quando há três elementos: a exposição ao risco, a capacidade de reação e a adaptação diante do risco concretizado. O componente “exposição ao risco” pode ter várias conotações, por exemplo, no âmbito econômico pela propensão a um colapso financeiro por um excesso de dívidas, no âmbito de saúde pela suscetibilidade a doenças, dada uma má alimentação e falta de atividade física, ou em um contexto ambiental, onde estão mais vulneráveis à inundações aquelas pessoas residentes nas margens de rios ou próximas a uma rede de drenagem a céu aberto, por exemplo.

Quanto as componentes relacionadas a capacidade de reação e adaptação diante do risco materializado, ambas estão diretamente associadas a implicações sociais, econômicas, culturais e políticas, os quais relacionam-se à condição de pobreza de uma população (MENDONÇA, 2004). Essa camada da sociedade, geralmente é a mais vulnerável, por sua própria falta de defesa

social e econômica, ausência de apoio do Estado e incapacidade de resposta a uma ameaça externa. Paralelamente à pobreza, outros grupos da sociedade também apresentam vulnerabilidade, como os negros, mulheres, homossexuais, pessoas com deficiência física, crianças e idosos (DESCHAMPS, 2004).

O conceito teórico de risco e vulnerabilidade considerado nesta pesquisa é similar ao proposto por Szlafsztein e Reis (2012), que trataram o risco como sendo fruto da exposição de um sistema sob uma determinada condição de vulnerabilidade socioeconômica, à uma ameaça natural, neste caso, os extremos climáticos.

Os procedimentos metodológicos deste estudo seguirão as definições propostas por De Almeida, Welle e Birkman (2016) e a classificação de risco de Coutinho *et al.* (2017), em que a ideia de vulnerabilidade é explicada como uma situação em que estão presentes três elementos: a suscetibilidade, a capacidade de resposta e a capacidade adaptativa. A componente suscetibilidade refere-se a comunidades expostas ou outros elementos expostos, que os tornam mais propensos a sofrer danos e serem adversamente afetados por um risco natural ou por extremos climáticos. A capacidade de resposta é a habilidade de um grupo ou sociedade de usarem o que há disponível para enfrentar e gerenciar emergências, desastres ou condições adversas que possam levar a um processo prejudicial causado por um fenômeno perigoso. Complementarmente, a capacidade adaptativa consiste na adaptação em termos de processo de longo prazo, incluindo mudanças estruturais, envolve capacidades, medidas e estratégias que permitam as comunidades mudarem e se transformarem para lidar com as consequências negativas esperadas pelos riscos naturais e extremos climáticos. Enfim, concentra características que permitem mudanças socioeconômicas e culturais dentro de uma sociedade.

Tais conceitos/dimensões relacionam uma maior ou menor vulnerabilidade ao desempenho de uma população em uma série de fatores sociais e ambientais, capazes de fornecer uma resposta acerca do potencial de perda e impacto negativo frente a concretização de uma ameaça.

Portanto neste trabalho, serão abordados na avaliação da vulnerabilidade os componentes “suscetibilidade”, “capacidade de reação” e “adaptação diante do risco concretizado”, uma vez que essas dimensões combinadas definem, de fato, a vulnerabilidade. Quando associada a uma exposição, que no caso do presente estudo refere-se à frequência de extremos climáticos, poderá ser obtido o grau de risco, que fornecerá uma resposta de áreas com potencial impacto de uma ameaça natural.

2.3 Índices e indicadores de vulnerabilidade

Os indicadores são medidas quantificáveis que fornecem informações de uma realidade complexa de uma única construção ou valor, que possibilitam comparações no espaço e no tempo. A fim de avaliar a vulnerabilidade é muito comum o uso de índices de indicadores, que podem ser quantificáveis e medidos a fim de fornecer informações sobre assuntos de significado mais amplo do que aquilo que é realmente medido, ou em um processo ou tendência que de outra forma não seria aparente (HAMMOND *et al.*, 1995). Em outras palavras, são medidas agregadas de uma realidade complexa em uma construção única (VINCENT, 2004).

Muitas vezes, índice e indicador são considerados erroneamente como sinônimos, porém, índice é o valor agregado final de todo procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem (SICHE; AGOSTINHO; ORTEGA, 2007). O indicador pode ser individual ou um agregado (MUELLER; TORRES; MORAIS, 1997), que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, um sistema ou fenômeno (MITCHELL, 1996; SHIELDS; SOLAR; MARTIN, 2002). Um exemplo de indicador agregado é o PIB, que foi criado para a soma da produção de bens e serviços finais em uma economia em um determinado período, representa uma aproximação da força de uma economia (PRABHU; COLFER; DUDLEY, 1999).

Apesar das vantagens ao utilizar indicadores e índices, existe o perigo de que ambos não representem com precisão a condição ou processo pretendido. Quanto mais complexa a realidade e mais intangíveis os processos que o indicador analisado tenta capturar, maior a probabilidade de que não haja uma representação adequada.

Para determinar se a exposição de um sistema a uma ameaça se traduzirá em impactos ou será mediada pelos sistemas biofísico e/ou humano, é necessário escolher bem os indicadores que melhor representem os complexos processos que movimentam a dinâmica de um sistema (ADGER, 1999; ADGER; KELLY, 1999). Neste contexto, muitos estudos ilustram a necessidade da criação de índices de vulnerabilidade que considerem os fatores sociais, econômicos, culturais e institucionais que norteiam a vulnerabilidade social (UNEP, 2011). Isso significa identificar fatores que influenciam o quão estreita ou ampla é a faixa de sobrevivência, significando vulnerabilidade e resiliência, respectivamente (VINCENT, 2004).

Logo, avaliar a vulnerabilidade não é uma tarefa trivial e envolve medidas de diversos fatores que podem estar associados a componentes de diferentes naturezas, estudados concomitantemente por meio de um método objetivo.

Neste sentido, estudos como os Torres *et al.* (2012) apontaram *hotspots* sócio climáticos no Brasil por meio de um índice de vulnerabilidade social, que considerou como indicadores a densidade demográfica e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) incluídos em um índice sócio-climático. Apesar do resultado do diagnóstico de vulnerabilidade para todo o território brasileiro, o pequeno número de indicadores certamente não representa a particularidade da exposição de cada região frente a ameaça das mudanças climáticas.

Todavia, Valverde (2017) identificou vulnerabilidades socioeconômicas por meio de indicadores e índices demográficos, sanitários e de extremos de chuva na região do ABC Paulista. Os resultados indicaram alguns municípios mais vulneráveis às chuvas intensas e aos seus impactos.

Em uma escala maior, Vörösmarty *et al.* (2013) avaliou o risco e a vulnerabilidade na América do Sul, face aos extremos climáticos. Os autores utilizaram indicadores que apontaram algumas características socioambientais de populações afetadas pelos impactos dos extremos climáticos recentes e concluíram que o risco é derivado de uma combinação de fatores sociais e naturais. Ao final, sugeriram um maior detalhamento das condições humanas de vulnerabilidade, especialmente na utilização de indicadores que expressem a sensibilidade na infraestrutura urbana.

Esteves (2011) sugere que, para estudos climáticos focados em investigar a vulnerabilidade de um determinado local devem analisar com o máximo de detalhes possíveis as nuances que caracterizam a condição social, enfatizando pequenas escalas espaciais, como bairros, municípios, microrregiões etc. Além disso, cita que os estudos climáticos em regiões frequentemente impactadas por secas e enchentes considerem não apenas o estado médio da atmosfera, mas a dinâmica regional para contemplar tanto os fenômenos habituais como aqueles mais raros, que são os que ocasionam os eventos ambientais danosos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e unidade de análise

A área de estudo engloba o estado do Pará composto de 143 municípios (IBGE, 2010), descritos na Tabela 1. Neste trabalho não está incluído o município de Mojuí dos Campos que foi emancipado de Santarém em 2013.

A Figura 3 mostra o domínio geográfico do estado do Pará, localizado na porção oriental da Amazônia Legal Brasileira. A posição do estado tem ao norte o Suriname e o Amapá; a leste o Maranhão e Tocantins, ao sul o Mato Grosso, a nordeste o Oceano Atlântico e noroeste a Guiana e Roraima. Com uma área de 1.247.954,320 km² e uma população de mais de 8 milhões de habitantes, o Pará é o segundo maior estado do País em extensão territorial e mais povoado da região Norte. Os municípios paraenses dividem-se em sete mesorregiões, são elas: Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste Paraense, Sudoeste Paraense e Sudeste Paraense (linhas em vermelho na Figura 3). Em termos econômicos, o Pará é uma importante fonte de matéria-prima para o Brasil, com a economia baseada no extrativismo mineral, vegetal, na pecuária e na agricultura. A mineração e a pecuária são preponderantes na mesorregião Sudeste, enquanto a agricultura é preponderante no Nordeste. Além disso, a região metropolitana de Belém também concentra as principais indústrias do estado.

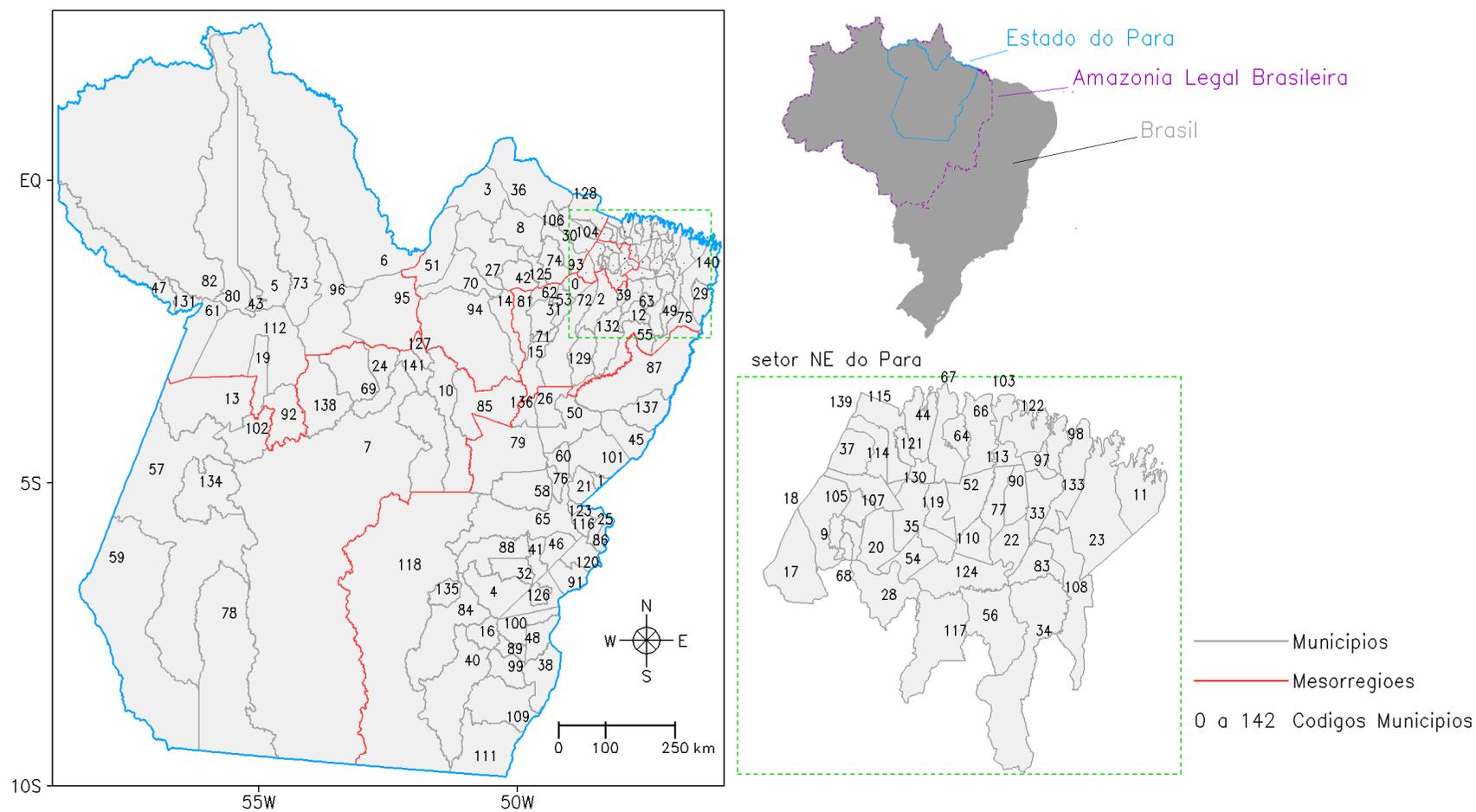
No presente trabalho considera-se como unidade territorial de análise os municípios do estado do Pará. As informações de âmbito municipal pouco foram abordadas em estudos similares e os resultados deste estudo fornecerão uma nova visão quando ao diagnóstico espacial da frequência de extremos climáticos, da vulnerabilidade socioambiental, além do produto da interação de ambos que é o risco climático/socioambiental.

Tabela 1 - Lista com o código e nome dos 143 municípios do Pará.

| Código | Nome do município | Código | Nome do município | Código | Nome do município |
|--------|--------------------------|--------|----------------------|--------|---------------------------|
| 0 | Abaetetuba | 48 | Floresta do Araguaia | 96 | Prainha |
| 1 | Abel Figueiredo | 49 | Garrafão do Norte | 97 | Primavera |
| 2 | Acará | 50 | Goianésia do Pará | 98 | Quatipuru |
| 3 | Afuá | 51 | Gurupá | 99 | Redenção |
| 4 | Água Azul do Norte | 52 | Igarapé-Açu | 100 | Rio Maria |
| 5 | Alenquer | 53 | Igarapé-Miri | 101 | Rondon do Pará |
| 6 | Almeirim | 54 | Inhangapi | 102 | Rurópolis |
| 7 | Altamira | 55 | Ipixuna do Pará | 103 | Salinópolis |
| 8 | Anajás | 56 | Irituia | 104 | Salvaterra |
| 9 | Ananindeua | 57 | Itaituba | 105 | Santa Bárbara do Pará |
| 10 | Anapu | 58 | Itupiranga | 106 | Santa Cruz do Arari |
| 11 | Augusto Corrêa | 59 | Jacareacanga | 107 | Santa Isabel do Pará |
| 12 | Aurora do Pará | 60 | Jacundá | 108 | Santa Luzia do Pará |
| 13 | Aveiro | 61 | Juruti | 109 | Santa Maria das Barreiras |
| 14 | Bagre | 62 | Limoeiro do Ajuru | 110 | Santa Maria do Pará |
| 15 | Baião | 63 | Mãe do Rio | 111 | Santana do Araguaia |
| 16 | Bannach | 64 | Magalhães Barata | 112 | Santarém |
| 17 | Barcarena | 65 | Marabá | 113 | Santarém Novo |
| 18 | Belém | 66 | Maracanã | 114 | Santo Antônio do Tauá |
| 19 | Belterra | 67 | Marapanim | 115 | S. Caetano de Odivelas |
| 20 | Benevides | 68 | Marituba | 116 | S. Domingos do Araguaia |
| 21 | Bom Jesus do Tocantins | 69 | Medicilândia | 117 | São Domingos do Capim |
| 22 | Bonito | 70 | Melgaço | 118 | São Félix do Xingu |
| 23 | Bragança | 71 | Mocajuba | 119 | São Francisco do Pará |
| 24 | Brasil Novo | 72 | Moju | 120 | São Geraldo do Araguaia |
| 25 | Brejo Grande do Araguaia | 73 | Monte Alegre | 121 | São João da Ponta |
| 26 | Breu Branco | 74 | Muaná | 122 | São João de Pirabas |
| 27 | Breves | 75 | Nova Esperança Piriá | 123 | São João do Araguaia |
| 28 | Bujaru | 76 | Nova Ipixuna | 124 | São Miguel do Guamá |
| 29 | Cachoeira do Piriá | 77 | Nova Timboteua | 125 | S. Sebastião da Boa Vista |
| 30 | Cachoeira do Arari | 78 | Novo Progresso | 126 | Sapucaia |
| 31 | Cametá | 79 | Novo Repartimento | 127 | Senador José Porfírio |
| 32 | Canaã dos Carajás | 80 | Óbidos | 128 | Soure |
| 33 | Capanema | 81 | Oeiras do Pará | 129 | Tailândia |
| 34 | Capitão Poço | 82 | Oriximiná | 130 | Terra Alta |
| 35 | Castanhal | 83 | Ourém | 131 | Terra Santa |
| 36 | Chaves | 84 | Ourilândia do Norte | 132 | Tomé-Açu |
| 37 | Colares | 85 | Pacajá | 133 | Tracuateua |
| 38 | Conceição do Araguaia | 86 | Palestina do Pará | 134 | Trairão |
| 39 | Concórdia do Pará | 87 | Paragominas | 135 | Tucumã |
| 40 | Cumarú do Norte | 88 | Parauapebas | 136 | Tucuruí |
| 41 | Curionópolis | 89 | Pau D'Arco | 137 | Ulianópolis |
| 42 | Currálinho | 90 | Peixe-Boi | 138 | Uruará |
| 43 | Curuá | 91 | Piçarra | 139 | Vigia |
| 44 | Curuçá | 92 | Placas | 140 | Viseu |
| 45 | Dom Eliseu | 93 | Ponta de Pedras | 141 | Vitória do Xingu |
| 46 | Eldorado dos Carajás | 94 | Portel | 142 | Xinguara |
| 47 | Faro | 95 | Porto de Moz | | |

Fonte: IBGE

Figura 3 - Mapa da área de estudo destacando a divisão política do estado do Pará, composta por 143 municípios e sete mesorregiões.



Fonte: Do autor, adaptado de IBGE (2010).

3.2 Bases de dados

Este trabalho usa indicadores de diferentes naturezas a fim de expressar a vulnerabilidade socioambiental. A seguir, descrevem-se as referidas bases de dados, em que cada indicador está relacionado a um tema, o qual é vinculado a uma das três dimensões que definem a vulnerabilidade. A seleção dos indicadores seguiu os critérios como: confiabilidade da origem, possibilidade da elaboração de escalas de desempenho e representatividade na caracterização da vulnerabilidade. Ressalta-se também foram inseridos dois índices na análise, que neste estudo foram tratados como indicadores, dadas suas relevâncias na aproximação do diagnóstico do grau de vulnerabilidade. Assim, foram utilizados neste estudo um total de 36 indicadores multitemáticos, divididos em 2 indicadores relativos à exposição, 14 indicadores associados a suscetibilidade, 9 indicadores concernentes a capacidade de resposta e 11 indicadores alusivos à capacidade adaptativa. A descrição dos indicadores e o porquê da utilização deles será apresentada na próxima seção.

3.2.1 Indicadores socioeconômicos e ambientais

Os dados socioeconômicos utilizados para esta pesquisa são oriundos de cinco fontes principais:

- Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) que trabalha com o objetivo de promover o desenvolvimento das telecomunicações do País de modo a dotá-lo de uma moderna e eficiente infraestrutura de telecomunicações em todo o território nacional (ANATEL, 2013).
- Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) que é o órgão máximo executivo do Sistema Nacional de Trânsito, com objetivo principal de fiscalizar e fazer cumprir a legislação de trânsito e a execução das normas e diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN (DENATRAN, 2013).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tanto com informações do último Censo, realizado em 2010, quanto do Perfil de Municípios Brasileiros de 2012 (IBGE, 2013), que é um questionário relativos à gestão e à estrutura dos municípios, a partir da coleta de informações sobre sete temas, contemplando

questões relacionadas ao perfil dos gestores municipais, recursos humanos, legislação e instrumentos de planejamento, saúde, meio ambiente, política de gênero e gestão de risco e resposta a desastres, sendo o Bloco Política de Gênero resultante de convênio institucional firmado entre o IBGE e a Secretaria de Políticas para as Mulheres da Presidência da República.

- Ministério da Saúde (MS) por meio, tanto da base do DATASUS que é o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (SUS) com responsabilidade de coletar, processar e disseminar informações sobre saúde (MS, 2018a), quanto do Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN) que é alimentado pela notificação e investigação de casos de doenças e agravos que constam da lista nacional de doenças de notificação compulsória (Portaria de Consolidação nº 4, de 28 de Setembro de 2017, anexo V - Capítulo I) (MS, 2018b).
- Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB), que engloba o Atlas do Desenvolvimento Humano nos Municípios e o Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas (ADHB, 2015). O Atlas disponibiliza mais de 200 indicadores e índices de demografia, educação, renda, trabalho, habitação e vulnerabilidade, com dados extraídos dos Censos Demográficos do IBGE de 1991, 2000 e 2010 (SCARPIN; SLOMSKI, 2006; REZENDE; SLOMSKI; CORRAR, 2007), nas escalas estaduais e municipais.

Portanto, os dados usados para o presente estudo são de natureza municipal. A seguir, descrevem-se todos os 34 indicadores utilizados nas análises, bem como a sua definição e um breve descritivo da sua relevância no cálculo da vulnerabilidade socioambiental.

(1) **Percentual da população em domicílios com coleta de lixo (LIX)**: Razão entre a população que vive em domicílios com coleta de lixo e a população total residente em domicílios particulares permanentes multiplicado por 100. Estão incluídas as situações em que a coleta de lixo realizada diretamente por empresa pública ou privada, ou o lixo é depositado em caçamba, tanque ou depósito fora do domicílio, para posterior coleta pela prestadora do serviço. São considerados apenas os domicílios particulares permanentes localizados em área urbana. A ineficácia de coleta de lixo torna-se um problema público em localidades frequentemente

impactadas por extremos chuvosos, uma vez que os resíduos não coletados em áreas alagadas podem ocasionar entupimento de esgotos e proliferação de doenças. Portanto, será considerado que a vulnerabilidade aumenta à medida que diminui o percentual da população em domicílios com coleta de lixo. Fonte: IBGE (2010).

(2) **Percentual da população em domicílios com energia elétrica (ENE)**: razão entre a população que vive em domicílios particulares permanentes com iluminação elétrica e a população total residente em domicílios particulares permanentes multiplicado por 100. Considera-se iluminação proveniente ou não de uma rede geral, com ou sem medidor. No Pará, muitos municípios ainda apresentam baixo percentual de domicílios com acesso à energia elétrica, por exemplo Cachoeira do Piriá com 65,7%, Bagre com 64,4%, Melgaço com 64,1%, Prainha com 63,4%, Chaves com 62,6%. Essa característica denota um atraso em relação aos serviços públicos oferecidos a população e, deste modo, evidenciando uma incapacidade de lidar e combater ameaças externas. Por conseguinte, entende-se para este estudo que, quanto maior o percentual de domicílios com energia elétrica, menor o grau de vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(3) **Percentual da população que vive em domicílios com água encanada (AGU)**: razão entre a população que vive em domicílios particulares permanentes com água canalizada para um ou mais cômodos e a população total residente em domicílios particulares permanentes multiplicado por 100. A água pode ser proveniente de rede geral, de poço, de nascente ou de reservatório abastecido por água das chuvas ou carro-pipa. O indicador de abastecimento de água é imprescindível ao avaliar a condição de risco associado a frequência de extremos climáticos secos, de maneira que, quanto maior o percentual de pessoas com acesso a água encanada menor a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(4) **Esgotamento sanitário (ESG)**: percentual da população com saneamento básico, incluindo os sistemas de esgoto canalizado e fossas sépticas. A falta de esgotamento sanitário pode gerar inúmeros problemas de saúde, sendo que a eficácia deste serviço público leva a uma melhoria de vida na população na medida que controla e previne doenças, combatendo muitos vetores. Deste modo, este indicador é inversamente proporcional a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(5) **Percentual de pessoas em domicílios com paredes que não sejam de alvenaria ou madeira aparelhada (PIN)**: razão entre as pessoas que vivem em domicílios cujas paredes não são de alvenaria nem de madeira aparelhada e a população total residente em domicílios particulares permanentes multiplicado por 100. São considerados apenas os domicílios particulares permanentes. Em casos de extremos climáticos chuvosos, frequentemente acompanhados por ventos fortes e chuvas intensas decorrentes de tempestades, um maior percentual de domicílios com paredes inadequadas se traduz em uma maior vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(6) **Percentual de vulnerabilidade à pobreza (VUP)**: proporção dos indivíduos com renda domiciliar per capita igual ou inferior a R\$ 255,00 mensais, em reais de agosto de 2010, equivalente a 1/2 salário mínimo nessa data. O universo de indivíduos é limitado aqueles que vivem em domicílios particulares permanentes. A condição econômica de cada indivíduo é um indicador importante para se conhecer o potencial de resposta diante de uma ameaça. Entende-se que quanto maior o percentual de vulneráveis à pobreza, maior a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(7) **Razão de dependência (RDP)**: razão de dependência é medida pela razão entre o número de pessoas com 14 anos ou menos e de 65 anos ou mais de idade (população dependente) e o número de pessoas com idade de 15 a 64 anos (população potencialmente ativa) multiplicado por 100. Quanto maior a população potencialmente ativa, melhor a condição desta população lidar com os impactos de ameaças naturais. Logo, o indicador é diretamente proporcional a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(8) **Renda per capita (RPC)**: é um indicador que expressa a renda média por pessoa em uma data localidade, sendo calculada pela divisão do valor do Produto Interno Bruto (PIB) pela população. A renda per capita é uma aproximação do poder econômico de cada indivíduo. Neste caso, quanto maior a renda per capita, menor o grau de vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(9) **Índice de Gini (GIN)**: mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita. Seu valor varia de 0, quando não há desigualdade (a renda domiciliar per capita de todos os indivíduos tem o mesmo valor), a 1, quando a desigualdade é

máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda). O universo de indivíduos é limitado àqueles que vivem em domicílios particulares permanentes. A desigualdade é um conceito que afeta principalmente os países não desenvolvidos e subdesenvolvidos, onde não há um equilíbrio no padrão de vida dos seus habitantes, seja no âmbito econômico, escolar, profissional, de gênero, entre outros. Assim, a desigualdade evidencia os problemas sociais, ao segregar uma minoria com alto poder aquisitivo, de uma maioria pobre e vulnerável socioeconomicamente. Deste modo, será considerado que, quanto maior o Índice de Gini, maior a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(10) **Mortalidade por doenças respiratórias (MDR)**: A fumaça presente no ar devido às queimadas, poluição e indústrias é uma das principais causas de doenças respiratórias, como rinite, sinusite, bronquite, asma etc. Na Amazônia, a mortalidade atribuída a doenças respiratórias chega anualmente a 35,2 óbitos para cada 100 mil habitantes. No presente estudo, considera-se que uma maior mortalidade por doenças respiratórias corresponde a uma maior vulnerabilidade. Fonte: MS (2014b).

(11) **Mortalidade por doenças infecciosas (MDI)**: taxa de mortalidade causada por diversas doenças infecciosas somadas (tuberculose, HIV/AIDS, malária, dengue, hanseníase, hepatite B, hepatite C, doenças de Chagas, entre outras doenças). A mortalidade por doenças infecciosas chega a cerca de 20 óbitos por 100 mil habitantes, e os casos de malária persistem em taxas consideradas epidêmicas (10,2 casos para cada mil habitantes), afetando a qualidade de vida da população. Este indicador foi tratado como diretamente proporcional a vulnerabilidade. Fonte: MS (2014b).

(12) **Número de casos de dengue (DEN)**: notificações por município registradas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação - Brasil entre 2007 e 2012. A dengue é uma doença tropical infecciosa causada pelo vírus da dengue, é transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*, que se desenvolve em áreas tropicais e subtropicais. Alguns municípios não apresentaram registros, ou por não ter havido casos de pessoas infectadas pela doença ou simplesmente por não ter sido registrado. Tais municípios correspondem a cerca de 11% do total da Região Norte do Brasil. O número de casos de dengue foi tratado neste estudo de modo diretamente proporcional a vulnerabilidade. Fonte: MS (2018b).

(13) **Subnutrição (SUB)**: população de todas as idades que está abaixo do peso ideal e Índice de Massa Corporal (IMC). A subnutrição é uma característica que acompanha os países mais pobres do mundo e pode ser usado como indicador de suscetibilidade de um município. Quanto maior a subnutrição, maior a vulnerabilidade. Fonte: MS (2014a).

(14) **Mortalidade por subnutrição (MSU)**: taxa de mortalidade da população devido a falta de ingestão de alimentos. Assim como no indicador anterior, a mortalidade por subnutrição relaciona-se a fatores como desigualdade social, pobreza e da existência de uma camada da população carente de acesso aos bens e serviços básicos. Será tratado neste estudo como diretamente proporcional a vulnerabilidade. Fonte: MS (2014a).

(15) **Medidas estruturais para reduzir risco de desastres (MRR)**: são elementos que têm a função de minimizar vulnerabilidades e riscos em uma sociedade, para evitar (prevenção) ou limitar (mitigação e preparação) o impacto adverso de ameaças. É um indicador de natureza política, que contribui para avaliar o grau de preparação de um município e um potencial resposta diante de uma ameaça. Como as informações do indicador consistem em dados binários (existe ou não existe), foi atribuído o valor de 0 para casos positivos e +1 para caso negativo. A existência de tais medidas para a redução do risco de desastres resulta em uma menor vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2013).

(16) **População vulnerável a desastres cadastradas em programas habitacionais (PVD)**: para atenuar os impactos diretos na população que vive em áreas de risco de enchentes, enxurradas, deslizamentos de encostas etc., alguns governos estaduais ou municipais possuem cadastros de famílias em programas habitacionais para a retirá-las de locais de risco. As respostas são do tipo: “não”, “não sabe informar”, “sim, parte da população vulnerável” e “sim”. Para tais respostas foram atribuídos os valores, +1, 0, -0,5 e -1, respectivamente. O indicador foi tratado como inversamente proporcional a vulnerabilidade, ou seja, se há população vulnerável a desastres cadastradas em programas habitacionais, menor será a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2013).

(17) **Estrutura local para resposta a desastres (ERD)**: indicador que é parte da gestão de risco e resposta a desastres, relativa a existência de determinador órgãos do governo para proteção da

população, como Unidade de Corpo de Bombeiros, Coordenação Municipal de Defesa Civil, Núcleos Comunitários de Defesa Civil, além de outras estruturas para atuar na prevenção de riscos e respostas a desastres. Para este caso, as respostas foram “sim” e “não sabe informar”. Os valores atribuídos as respostas foram -1 e +1, respectivamente. Em caso de existência de estrutura local para resposta a desastres, menor a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2013).

(18) **Leitos de internação em hospitais a cada 1000 habitantes (LIH)**: como o próprio nome, refere-se ao número de leitos hospitalares a cada 1000 habitantes, em janeiro de 2010. É um indicador relativa a uma resposta imediata de atendimento a população em caso de materialização de uma ameaça natural danosa. Quanto maior o número de leitos, menor a vulnerabilidade. Fonte: MS (2014a).

(19) **Razão de médicos para cada 1000 habitantes (MED)**: assim como indicador anterior, também está relacionado com uma rápida resposta de atendimento a população impactada por eventos naturais extremos. Quanto maior a razão de médicos, menor a vulnerabilidade. Fonte: MS (2014a).

(20) **Taxa de imunizações (IMU)**: a imunização é a aquisição de proteção imunológica contra uma doença infecciosa. É administrada por meio de vacina, imunoglobulina ou por soro de anticorpos e tem como objetivo aumentar a resistência de um indivíduo contra infecções. Entende-se que quanto maior a taxa de imunizações, menor será a vulnerabilidade. Fonte: MS (2014a).

(21) **Conexão de voz (CVZ)**: avalia até que ponto o consumidor pode acessar a rede de voz para fazer chamadas em seu telefone celular. É uma medida de comunicação de um indivíduo, além de ser uma informação da capacidade econômica populacional. Se a taxa de comunicação de voz é alta, menor será a vulnerabilidade. Fonte: ANATEL (2013).

(22) **Conexão de dados e internet móvel (INT)**: avalia até que ponto o consumidor pode acessar a internet de dados por celular. Mais um indicador relativo à comunicação, que também pode servir como fonte de prevenção de risco a desastres, uma vez que a conexão com a internet

facilita o acesso à informação. Quanto maior a taxa de pessoas com acesso a internet móvel, menor será a vulnerabilidade. Fonte: ANATEL (2013).

(23) **Número de ônibus por 1000 habitantes (ONI)**: indicador associado a mobilidade urbana, representa a taxa de existência de ônibus. É uma condição criada para as pessoas poderem se locomover entre as diferentes zonas de uma cidade, serve como um indicador associado à capacidade de resposta de uma população. Um maior número de ônibus por 1000 habitantes está associado a uma menor vulnerabilidade. Fonte: DENATRAN (2013).

(24) **Taxa de analfabetização para maiores de 15 anos (ANF)**: Razão entre a população de 15 anos ou mais de idade que não sabe ler nem escrever um bilhete simples. É um indicador relacionado à educação e serve como informação da capacidade adaptativa de uma população. Quanto maior a taxa de analfabetização, maior a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(25) **Percentual de crianças entre 6 e 14 anos de idade que estão fora da escola (CFE)**: razão entre as crianças de 6 a 14 anos que não frequenta a escola e o total de crianças nesta faixa etária multiplicado por 100. Este indicador educacional, cuja relação com a vulnerabilidade está associada a qualidade do ensino e que, indiretamente, expressa o potencial de uma população lidar com adversidades. Logo, a vulnerabilidade será maior quanto maior o percentual de crianças fora da escola, dentro da referida faixa etária. Fonte: IBGE (2010).

(26) **Pessoas acima de 25 anos de idade com ensino superior (SUP)**: razão entre a população de 25 anos ou mais de idade que concluiu pelo menos a graduação do ensino superior e o total de pessoas nesta faixa etária multiplicado por 100. Um indicador educacional que busca evidenciar o potencial de reação de uma população frente uma adversidade. Quanto mais estudo ou informação, o indivíduo tende a buscar melhores condições de vida e reduzir o seu grau de vulnerabilidade. Diante disso, o indicador foi abordado neste estudo de modo inversamente proporcional a vulnerabilidade, isto é, quanto maior, menor o grau de vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

(27) **Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB)**: é um indicador de qualidade educacional que combina informações de desempenho em exames padronizados (Prova Brasil ou

Sistema de Avaliação da Educação Básica – SAEB) – obtido pelos estudantes ao final das etapas de ensino (4ª e 8ª séries do ensino fundamental e 3ª série do ensino médio) – com informações sobre rendimento escolar (aprovação). Para o presente caso, utilizou-se o IDEB relativo ao desempenho escolar relativo a 3ª série do ensino médio e foi considerado que, quanto maior o valor do IDEB, menor o grau de vulnerabilidade. Fonte: INEP/MEC (2010).

(28) **Legislação e instrumentos de planejamento (LIP)**: indicador que reflete se o município contempla instrumentos de planejamento como: Planos de Saneamento Básico, Plano Municipal para a Redução de Riscos, Leis que contemplem prevenções de vários tipos de desastres etc. Os dados são binários, sendo “sim” ou “nenhum instrumento”, onde “sim” corresponde a +1 e a negativa corresponde a -1. A existência de normas de planejamento municipal se traduz em uma menor vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2013).

(29) **Ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres (FPD)**: indica se o município possui gestão para prever e reagir a longo prazo diante de um risco iminente. Aponta se o município contempla um Plano de Contingência, Cadastro de Risco, Sistemas de Alertas Antecipados, Mapeamento de Áreas de Risco, entre outros. As respostas são “sim” ou “não sabe informar”, sendo atribuídos, respectivamente, os valores de +1 e -1 para cada resposta. A ausência de ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres implica em uma maior vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2013).

(30) **Expectativa de vida ao nascer (EXP)**: consiste na estimativa do número de anos que se espera que um indivíduo possa viver. Portanto, o aumento da expectativa de vida está diretamente associado à melhoria das condições de vida da população. Se a expectativa de vida de uma população é alta, menor é a vulnerabilidade. Fonte: IBGE (2010).

Os indicadores ambientais utilizados neste estudo foram extraídos da base do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que disponibiliza gratuitamente informações da cobertura florestal na Amazônia (INPE, 2014). A base de dados é derivada do projeto Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), que realiza o monitoramento por satélites do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal, desde 1988. O PRODES utiliza satélites da classe LANDSAT, cuja resolução espacial é da ordem de 20 a 30 metros e as

estimativas são consideradas confiáveis pelos cientistas nacionais e internacionais (KINTISCH, 2007).

No contexto amazônico, apesar de abrigar a maior floresta tropical do mundo, cerca de 19% (760 mil km²) da Amazônia já foi desmatada (INPE, 2014). Assim, como o bioma amazônico vem passando por transformações significativas no uso e cobertura do solo, considerou-se pertinente a utilização de indicadores relativos ao desmatamento e conservação florestal. Deste modo, os 04 indicadores relativos ao tema meio ambiente selecionados para o presente estudo são descritos a seguir, todos empregados nas análises de risco, tanto aos extremos climáticos secos quanto aos extremos climáticos chuvosos:

(31) **Percentual do desmatamento acumulado (DMT)**: estimativas de desmatamento geradas pelo PRODES com base no mapeamento anual de um grande conjunto de imagens de satélite Landsat 5/TM ou similares, cobrindo toda a extensão da Amazônia. A conservação da vegetação de uma localidade possui relação com a sustentabilidade dos ecossistemas e, por sua vez, com o bem-estar humano. Portanto, quanto maior o percentual de desmatamento acumulado, maior o grau de vulnerabilidade.

(32) **Percentual de áreas degradadas (DEG)**: a percentagem de cobertura municipal com solo exposto, pasto sujo, pasto degradado, área minerada e desmatada. O Decreto Federal 97.632/89 define o conceito de degradação ambiental como sendo “processos resultantes de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade produtiva dos recursos naturais.”. Logo, este indicador foi tratado nesta pesquisa como um agravante a condição de vulnerabilidade, isto é, quanto maior o percentual de áreas degradadas, maior o grau de vulnerabilidade.

(33) **Percentual de áreas protegidas (PTG)**: percentual das Áreas Protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas) do município. As áreas protegidas são partes do território sob atenção e cuidado especial, em virtude de algum atributo específico ou até único que elas apresentam. Deste modo, são consideradas imprescindíveis, não somente para um equilíbrio ambiental, mas também para o social. Neste estudo, o percentual de áreas protegidas foi abordado de modo inversamente proporcional ao grau de vulnerabilidade, isto é, quanto maior o percentual de áreas protegidas, menor o grau de vulnerabilidade.

(34) **Desperdício de Água (DAG)**: perda de água durante a distribuição para as residências pelas companhias de saneamento. Os impactos do desperdício da água são graves e traduzem-se na redução do abastecimento de água para a população, na menor disponibilidade de água nas reservas hídricas e na ocorrência de verdadeiras crises hídricas em tempos de seca. Assim, entende-se que quanto maior o desperdício de água, maior o grau de vulnerabilidade.

De maneira geral, entende-se que o desempenho insatisfatório dos indicadores listados e descritos acima relacionam-se com maior grau de vulnerabilidade de um determinado local. A Tabela 2 resume os indicadores utilizados no estudo, em suas respectivas dimensões e temas, além da fonte das informações.

Tabela 2 - Lista de 34 indicadores por tema e dimensão de vulnerabilidade.

| Vulnerabilidade | | |
|---|--|---|
| Suscetibilidade | Capacidade de Resposta | Capacidade Adaptativa |
| Infraestrutura Pública | Preparação para Desastres e Alertas Prévios | Educação |
| (1) % de municípios com coleta regular de lixo (2) % de domicílios com acesso à energia elétrica (3) % de domicílios com abastecimento de água (4) % de domicílios com esgotamento sanitário | (15) Medidas estruturais para reduzir o risco de desastres (16) População vulnerável a desastres cadastrada em programas habitacionais (17) Estrutura local para reduzir desastres | (24) Taxa de analfabetização para maiores de 15 anos (25) Percentual de crianças de 6 a 14 anos de idade que estão fora da escola (26) Pessoas acima de 25 anos de idade com ensino superior completo (27) Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) |
| Condições de Moradia | Serviços Médicos | Estratégias de Adaptação |
| (5) % de pessoas em domicílios com paredes inadequadas | (18) Número de leitos de internação em hospitais/1000hab. (19) Número de médicos a cada 1000/hab. (20) Imunizações | (28) Legislação e instrumentos de planejamento (29) Ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres |
| Pobreza e Dependências | Rede de Comunicação | Investimentos |
| (6) % de vulneráveis a pobreza (7) Razão de dependência | (21) Conexão de voz (22) Conexão de dados e internet móvel | (30) Expectativa de vida ao nascer |
| Economia | Mobilidade urbana | Status Ambiental |
| (8) Renda per capita (9) Índice de Gini | (23) Número de ônibus por 1000 habitantes | (31) Desmatamento acumulado (32) Áreas degradadas (33) Áreas protegidas (34) Desperdício de água |
| Saúde e Nutrição | | |
| (10) Mortalidade por doenças respiratórias (11) Mortalidade por doenças infecciosas (12) Número de casos de dengue (13) Subnutrição (14) Mortalidade por subnutrição | | |

3.2.2 Dados climáticos

Como as bases de dados sociais e ambientais são de natureza municipal, foi necessária a geração dos dados climáticos na mesma resolução espacial para que as variáveis e indicadores possam ser integrados. Assim, foram gerados os dados municipais de precipitação para os 143 municípios do estado do Pará, com base nas séries do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), do *Climate Prediction Center* (CPC), do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation* (CHIRPS) e a combinação das estimativas de precipitação do TRMM com observações de superfície no continente sul-americano, técnica conhecida como MERGE. A série de dados de precipitação para cada uma das bases foi criada extraíndo as informações diárias de precipitação sobre o(s) ponto(s) de grade(s) no(s) qual(is) o município está localizado. Os parágrafos a seguir farão um breve detalhamento descritivo acerca das bases de dados utilizadas neste estudo. Os dados do TRMM foram utilizados no primeiro capítulo de resultados a fim de fornecer um panorama geral dos eventos climáticos extremos, enquanto as outras três bases de dados foram compiladas para o capítulo final, sobre a análise de vulnerabilidade e risco.

A seguir descrevem-se os detalhes de cada base de dados de precipitação:

- TRMM: satélite lançado em dezembro de 1997 em uma missão conjunta entre os Estados Unidos e o Japão, com o objetivo de fornecer o primeiro conjunto de dados detalhado e abrangente da distribuição da precipitação sobre o planeta, englobando continentes e oceanos, entre as latitudes de 40°N e 40°S. Desde que foi iniciado, a missão TRMM demonstrou um grande avanço no registro de precipitação, sendo uma importante fonte de dados para pesquisas meteorológicas, hidrológicas e atividades operacionais (LIU *et al.*, 2012). O TRMM possui um registro de 18 anos de dados (1998 a 2015), cujos produtos e algoritmos passaram por diversas mudanças substanciais e, após um processamento retrospectivo, foram gerados em 2012 novos conjuntos de dados, que constituem a Versão 7 (V7) desses produtos, cuja resolução horizontal de 0,25° (em torno de 28 km) (HUFFMAN; BOLVIN, 2015; WANG *et al.*, 2014). Estudos mostraram que a V7 é superior quando comparadas a versões anteriores, mais especificamente em relação ao viés, que é reduzido quando comparado aos dados de estações meteorológicas de superfície (SU; HONG; LATTENMAIER, 2008; KIRSTETTER *et al.*, 2013; SETO *et al.*, 2013; PRAKASH *et al.*, 2014). As mudanças substanciais nos produtos da V7 devem-se primordialmente a incorporação das análises atualizadas das estações meteorológicas ao longo do globo. Além

disso, compreendem mudanças no algoritmo que envolve a relação de reflexão do radar e a taxa de precipitação, a detecção de variações de relevo em terrenos altos, uma nova base de dados de referência para o algoritmo de micro-ondas passivo, um esquema de calibração de latitude dos satélites e o uso de um maior volume de dados de satélites e observações terrestres (HUFFMAN; BOLVIN, 2015).

- CPC: pertence ao *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) que recebe e processa os dados meteorológicos rotineiramente através do *Global Telecommunication System* (GTS), gerando produtos úteis para a comunidade científica em geral. Neste trabalho, foi utilizada a base de dados de precipitação diária, disponível desde o ano de 1979 até os dias atuais, a qual se encontra detalhada em Silva *et al.* (2007) e analisada para o leste da Amazônia em Silva Ferreira *et al.* (2015). A precipitação diária é gerada através da interpolação espacial (resolução de 0,5°) dos dados observados das estações meteorológicas de superfície e plataformas de coletas de dados, reportadas nas codificações SYNOP das 1200UTC. Essas estações são derivadas da rede observacional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Águas (ANA) e diversos centros estaduais de meteorologia. Na geração da base de dados utilizou-se o controle de qualidade e métodos de interpolação espacial descritos detalhadamente em Shi *et al.* (2000), sendo que alguns resultados sobre a consistência dos dados foram reportados em Carvalho *et al.* (2004) e Silva *et al.* (2007).
- CHIRPS fornece um produto de precipitação derivado da integração de satélites, abrange a região compreendida entre 50°S e 50°N, desde 1981 até os dias atuais. Os dados do CHIRPS são fornecidos em resoluções espaciais de 0,25° e 0,05°, em resoluções temporais diária à anual, com uma curta latência (FUNK *et al.*, 2015). De acordo com a literatura recente (SHRESTHA *et al.*, 2017; ZAMBRANO *et al.*, 2017), os dados do CHIRPS podem ser usados para análises de tendência e monitoramento sazonal de secas. Pesquisas de validação dos dados CHIRPS foram realizadas para diversas partes do mundo e os resultados mostraram que o desempenho é satisfatório em quase todos os estudos e, em muitos casos, melhor que em outros conjuntos de dados (DUAN *et al.*, 2016; RIVERA *et al.*, 2018).
- MERGE: consiste na combinação de dados derivados das estações meteorológicas e estimativas do satélite TRMM/GPM (ROZANTE *et al.*, 2010), através dos seguintes procedimentos: o primeiro passo é verificar em quais pontos de grade do TRMM existem

estações meteorológicas presentes. No ponto de grade onde há observação, não é utilizada a informação de satélite, de modo que o peso máximo seja dado ao valor da observação. Por questão de interpolação, os dados TRMM não são considerados para as duas linhas de pontos de grade adjacentes ao ponto de observação. Assim, o número total de pontos ao redor dos pontos de observação onde o TRMM não é considerado é igual a 24. Uma lista é gerada com a quantidade de precipitação, com a localização geográfica (latitude e longitude) e um identificador de estação atribuído (33333 foi escolhido para representar dados de satélite) para os pontos de grade restantes do TRMM, seguidas pelas observações em superfície. Observações de superfície e estimativas de precipitação TRMM são então interpoladas em uma grade regular com resolução de $0,2^\circ$ usando o método de análise objetiva de Barnes (BARNES, 1973).

Portanto, a partir das quatro bases de dados foram extraídas as informações municipais de precipitação e calculados os eventos climáticos extremos. A Tabela 3 resume a fonte de dados utilizadas no presente estudo, bem como a resolução espacial, resolução temporal e a origem das informações. Os resultados apresentados aqui, representam uma média entre as bases de dados supracitadas.

Tabela 3 - Lista das bases de dados pluviométricos utilizados para o cálculo de extremos climáticos.

| Fonte | Resolução Espacial | Período | Origem das Informações |
|--------------|---------------------------|----------------------|--|
| TRMM | $0,25^\circ$ | 1998 a 2015 | Interpolação de estimativas de satélite |
| CPC | $0,5^\circ$ | 1979 até dias atuais | Interpolação de estações Meteorológicas |
| CHIRPS | $0,05^\circ$ | 1981 até dias atuais | Interpolação da combinação de dados de estações meteorológicas e satélites |
| MERGE | $0,2^\circ$ | 1998 até dias atuais | Interpolação da combinação de dados de estações meteorológicas e satélites |

Fonte: Do autor

3.3 Métodos e procedimentos de análise

3.3.1 Avaliação do grau de vulnerabilidade

Para a obtenção do diagnóstico da vulnerabilidade socioambiental foram consideradas as três dimensões que definem a vulnerabilidade: suscetibilidade, capacidade de resposta e capacidade adaptativa.

Como cada indicador apresenta unidades de medidas diferenciadas, foi necessário normalizá-los em valores adimensionais. Essa transformação ajusta os valores dos indicadores em uma escala com variação de 0 (zero) a 1 (um). Sendo que, quanto mais próximo a 1, pior o desempenho do indicador (VALVERDE, 2017; VINCENT, 2004). O desempenho insatisfatório de cada um destes é interpretado como um fator agravante da vulnerabilidade.

A normalização ocorre de forma distinta conforme o tipo de indicador, se positivo ou negativo. Considerou-se um comportamento positivo se um aumento da variável resulta em uma piora do sistema, isto é, quanto maior, pior, e quanto menor, melhor.

Por outro lado, uma relação negativa significa que o aumento do valor da variável resulta em melhoria do sistema, ou seja, quanto maior, melhor, e quanto menor, pior. Tal critério foi idêntico ao utilizado por Valverde (2017) e Vincent (2004), e adaptado das metodologias semelhantes empregadas por Sepúlveda (2005), Waquil *et al.*, (2010) e Vale, Toledo e Vieira (2018). A normalização dos indicadores para escala adimensional é dada para indicadores positivos pela Equação 1 e para indicadores negativos pela Equação 2.

$$I_N(\text{positivo}) = \frac{I_0 - I_{MIN}}{I_{MAX} - I_{MIN}} \quad (1)$$

$$I_N(\text{negativo}) = \frac{I_{MAX} - I_0}{I_{MAX} - I_{MIN}} \quad (2)$$

Onde I_N corresponde ao valor normalizado do indicador (positivo ou negativo), I_0 é o valor registrado do indicador a ser normalizado, I_{MIN} é o valor mínimo e I_{MAX} é o valor máximo nas séries de cada um dos indicadores.

Assim sendo, os 34 indicadores socioambientais foram agregados em índices relacionados as três dimensões, conforme a Tabela 2: o Índice de Suscetibilidade (I_{SU}), o Índice de Capacidade de Resposta (I_{CR}) e o Índice de Capacidade Adaptativa (I_{CA}). Para a obtenção do

valor de cada índice foi calculada a média dos indicadores normalizados por dimensão. As Equações 3, 4 e 5 mostram, respectivamente, o cálculo do I_{SU} , I_{CR} e I_{CA} .

$$I_{SU} = \frac{(LIX+ENE+AGU+ESG+PIN+VUP+RDP+RPC+IGI+MDR+MDI+DEN+SUB+MSU)}{14} \quad (3)$$

$$I_{CR} = \frac{(MRR+PVD+ERD+LIH+MED+IMU+CVZ+INT+ONI)}{9} \quad (4)$$

$$I_{CA} = \frac{(ANF+CFE+SUP+IDEB+DMT+DEG+PTG+DAG+EXP+LIP+FPD)}{11} \quad (5)$$

O Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (V_{SA}) é dado pela soma ponderada dos valores dos três índices multidimensionais relativos à suscetibilidade, capacidade de resposta e capacidade adaptativa, segundo a Equação 6. Os critérios foram os mesmos utilizados por diversos autores (SEPÚLVEDA, 2005; VALE; TOLEDO; VIEIRA, 2018; VALVERDE, 2017; VINCENT, 2004).

$$V_{SA} = 0,34I_{SU} + 0,33I_{CR} + 0,33I_{CA} \quad (6)$$

Sendo que a soma do I_{SU} , I_{CR} e I_{CA} deve ser igual a 1, de modo que, quanto mais próximo de 1, maior o grau de vulnerabilidade. Logo, é possível notar que os pesos são praticamente os mesmos para cada índice, uma vez que foi considerado que todos são igualmente importantes. Assim, foi obtida a valores médios dos índices para todos os municípios paraenses.

Com todos os indicadores normalizados, aplicou-se em seguir a técnica dos quantis com a finalidade de categorizar os resultados em 3 classes: Baixa, Média e Alta.

Para cada indicador, os quantis foram calculados usando a série de 143 municípios do estado (amostra $n = 143$), portanto os resultados representam a estatística do Pará (variações intramunicipais). Um quantil de ordem p , definido para $0 < p < 1$, é um valor numérico que secciona a distribuição em duas partes, com probabilidades p e $1-p$. Neste trabalho, as ordens quantílicas usadas foram $p = 0,35$ e $0,65$ (XAVIER *et al.*, 2000), com a separação da amostra em três partes, ou seja, os municípios que apresentaram valores abaixo do $p = 0,35$, ou seja, bom desempenho, é atribuído ao grau baixo, enquanto os municípios que registraram valores acima de $p = 0,65$, são classificados com grau alto.

A Tabela 4 mostra o resultado da categorização dos graus de vulnerabilidade socioambiental e dos três índices que a definem.

Tabela 4 - Valores e intervalos obtidos no método dos quantis para I_{SU} , I_{CR} , I_{CA} e V_{SA} , considerando os valores médios dos municípios.

| Índices | Escala de Desempenho | | |
|----------|----------------------|------------------------|----------|
| | Baixo | Médio | Alto |
| I_{SU} | $\leq 0,33$ | $> 0,33$ e $\leq 0,40$ | $> 0,40$ |
| I_{CR} | $\leq 0,61$ | $> 0,61$ e $\leq 0,67$ | $> 0,67$ |
| I_{CA} | $\leq 0,48$ | $> 0,48$ e $\leq 0,56$ | $> 0,56$ |
| V_{SA} | $\leq 0,47$ | $> 0,47$ e $\leq 0,54$ | $> 0,54$ |

3.3.2 Índice SPI e seleção de eventos climáticos extremos

Para a definição de extremos climáticos, foi aplicado cálculo do *Standard Precipitation Index* (SPI) nos dados de precipitação para os municípios do estado do Pará. O cálculo do SPI, conforme McKee, Doesken e Kleist (1993), ajusta-se a série de dados históricos para uma distribuição gama (Equação 7), adequada aos dados mensais de precipitação, através de um processo de estimativa de máxima verossimilhança dos parâmetros de distribuição gama, α e β . Em termos simples, este processo permite que a distribuição da precipitação em uma área seja efetivamente representada por uma função de probabilidade cumulativa matemática dado pela expressão:

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \text{ para } X > 0 \quad (7)$$

Onde $\alpha > 0$ é o parâmetro de forma; $\beta > 0$ é o parâmetro de escala; $x > 0$ é a quantidade de precipitação em milímetros (mm) e $\Gamma(\alpha)$ representa a função gama completa.

As estimativas de α e β são dadas pelas Equações 8 e 9:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (8)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (9)$$

Onde \bar{x} é a precipitação média.

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \quad (10)$$

Sendo n o número de observações, temos a distribuição de probabilidade normal, a partir da distribuição cumulativa. A probabilidade acumulada de ocorrência de cada valor é estimada e aplicada na função normal inversa para encontrar o valor de SPI, que representa a diferença da precipitação observada e a média em um dado intervalo de tempo, pela razão do desvio padrão (Equação 11).

$$SPI = Z_i = \frac{(P_i - \bar{P}_i)}{\sigma_i} \quad (11)$$

Em que, P_i é a precipitação observada, \bar{P}_i e σ_i são, respectivamente, a média e o desvio padrão da série ajustada. Segundo McKee, Doesken e Kleist (1993), os valores quantitativos de SPI podem ser caracterizados para cada escala de tempo, sendo que os valores que ultrapassam a magnitude de 1,5, em módulo, podem ser definidos como eventos extremos.

Logo, neste trabalho, o extremo climático chuvoso (EXTCHU) é definido quando o SPI ultrapassa o valor de +1,5, enquanto o extremo climático seco (EXTSEC) é definido quando o SPI ultrapassa o valor de -1,5. Esses limiares também foram usados por Santos *et al.* (2017) em estudos de extremos para a Amazônia.

Tais valores de SPI, tomados como indicativo de ocorrência dos extremos, foram contabilizados para cada mês, entre 1998 a 2015, em cada um dos 143 municípios paraenses para o cálculo da frequência relativa (Equação 12) dos EXTCHU e EXTSEC usando a expressão:

$$F_R = \frac{F}{n} \quad (12)$$

A partir da F_R , os resultados foram agregados considerando as escalas anual, nos trimestres Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF), Março, Abril e Maio (MAM), Junho, Julho e Agosto (JJA) e Setembro, Outubro e Novembro (SON).

Do mesmo modo que os indicadores socioambientais e respectivos temas, o indicador da frequência de extremos climáticos também foi categorizado pelo método dos Quantis em três intervalos de desempenho para efeito de comparação com o V_{SA} . A Tabela 5 ilustra a categorização dos extremos climáticos, após a combinação dos eventos secos e chuvosos, que foram tratados separadamente em um primeiro momento, quando o foco foi a avaliação da precipitação, mas foram agregados para uma comparação direta com a V_{SA} , para o diagnóstico do risco associado à exposição.

Tabela 5 - Intervalos de desempenho para definição do grau da frequência de extremos climáticos.

| Índice de Extremos Climáticos | Escalas de Desempenho | | |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------|----------|
| | Baixo | Médio | Alto |
| EXTSEC + EXTCHU | $\leq 0,42$ | $> 0,42$ e $\leq 0,55$ | $> 0,55$ |

Fonte: Do autor

3.3.3 Avaliação do grau de risco aos extremos climáticos

Uma vez detalhados os métodos de cálculo da vulnerabilidade e definida a metodologia de caracterização dos extremos climáticos secos e chuvosos, a partir daqui denominado de EXTCLI, foi possível elaborar a matriz de Risco Socioambiental e Climático (RISC), baseando-se no produto entre a exposição (expressa por EXTCLI) e os aspectos socioeconômicos e ambientais pelo V_{SA} . A operação matemática de multiplicação entre EXTCLI e V_{SA} representa uma integração entre ambas as informações. A Equação 10 mostra o cálculo do RISC.

$$RISC = EXPOSIÇÃO (EXTCLI) \times VULNERABILIDADE(V_{SA}) \quad (10)$$

Este método foi proposto por Rebelo (2003) e metodologias semelhantes foram utilizadas nos estudos de Silva Júnior e Szlafsztain (2010), Szlafsztain (2010) e Coutinho *et al.* (2017), que avaliaram o risco como sendo fruto da exposição de um sistema sob uma condição de vulnerabilidade social ou socioeconômica, à uma ameaça natural, que pode ser a inundação de um rio, a ocorrência de tempestades, ou no presente caso, a frequência de extremos climáticos. Tais ameaças são tratadas como um fator natural externo.

Os indicadores de extremos climáticos secos e chuvosos, definidos segundo a metodologia do SPI, foram transformados para a escala adimensional seguindo os mesmos critérios descritos na seção 3.3.1 (SEPULVEDA, 2005; VALE; TOLEDO; VIEIRA, 2018; VALVERDE, 2017; WAQUIL *et al.*, 2010) e, posteriormente, foram combinados pela média aritmética simples. Deste modo, passaram a apresentar a mesma ordem de grandeza do V_{SA} e, como mostrado na Equação 10, foi possível a criação da matriz de RISC, definida na Tabela 6. Nos cálculos foram atribuídos os valores de 0,25, 0,50 e 0,75 para representar três categorias de Baixo, Médio e Alto, respectivamente. Logo, o resultado da multiplicação entre os EXTCLI e o V_{SA} resulta no grau de RISC para cada município paraense.

Vale ressaltar que, diferentemente de Coutinho *et al.* (2017), a matriz de risco para este trabalho considera que sempre há um risco potencial, pois matematicamente, nem a ameaça nem a vulnerabilidade são nulos. Em termos práticos, como não há municípios desabitados, as pessoas sempre são vulneráveis a algo e os extremos climáticos fazem parte da variabilidade natural da atmosfera e não podem ser eximidos.

Embora a condição de vulnerabilidade hipoteticamente ideal em que os indicadores socioeconômicos e ambientais sejam os melhores possíveis, há um limiar a partir do qual a ameaça exercerá um impacto no sistema. Um exemplo disso é a ocorrência de tufões no Japão ou de furacões na costa leste dos Estados Unidos, que são países desenvolvidos e com desempenho acima da média em todos os indicadores socioeconômicos, porém, a população muitas das vezes sofre graves danos em virtudes das ameaças inevitáveis (TANG; SUI, 2014; BRUNSMAN; OVERFELT; PICOU, 2010).

Tabela 6 - Matriz de Risco Socioambiental e Climático (RISC). onde $RISC < 0,1875$ representa risco baixo (cor verde), $RISC \geq 0,1875$ e $RISC < 0,375$ representa risco médio (cor amarela), e $R \geq 0,375$ indica risco alto (cor marrom).

| | | Vulnerabilidade Socioambiental | | |
|---------------------|--------------|--------------------------------|--------------|-------------|
| | | Baixo (0,25) | Médio (0,50) | Alto (0,75) |
| Exposição EXTCLI | Baixo (0,25) | 0,0625 | 0,125 | 0,1875 |
| | Médio (0,50) | 0,125 | 0,25 | 0,375 |
| | Alto (0,75) | 0,1875 | 0,375 | 0,5625 |

Fonte: Do autor com adaptação de Coutinho *et al.* (2017).

Portanto, de acordo com a Tabela 6, os municípios classificados com baixo grau de risco são aqueles cujo produto entre EXTCLI e V_{SA} são inferiores a 0,1875, os municípios categorizados com grau de risco médio apresentam valores entre 0,1875 e 0,375, enquanto que os municípios qualificados com grau de risco alto apresentam valores superiores a 0,375.

4 RESULTADOS

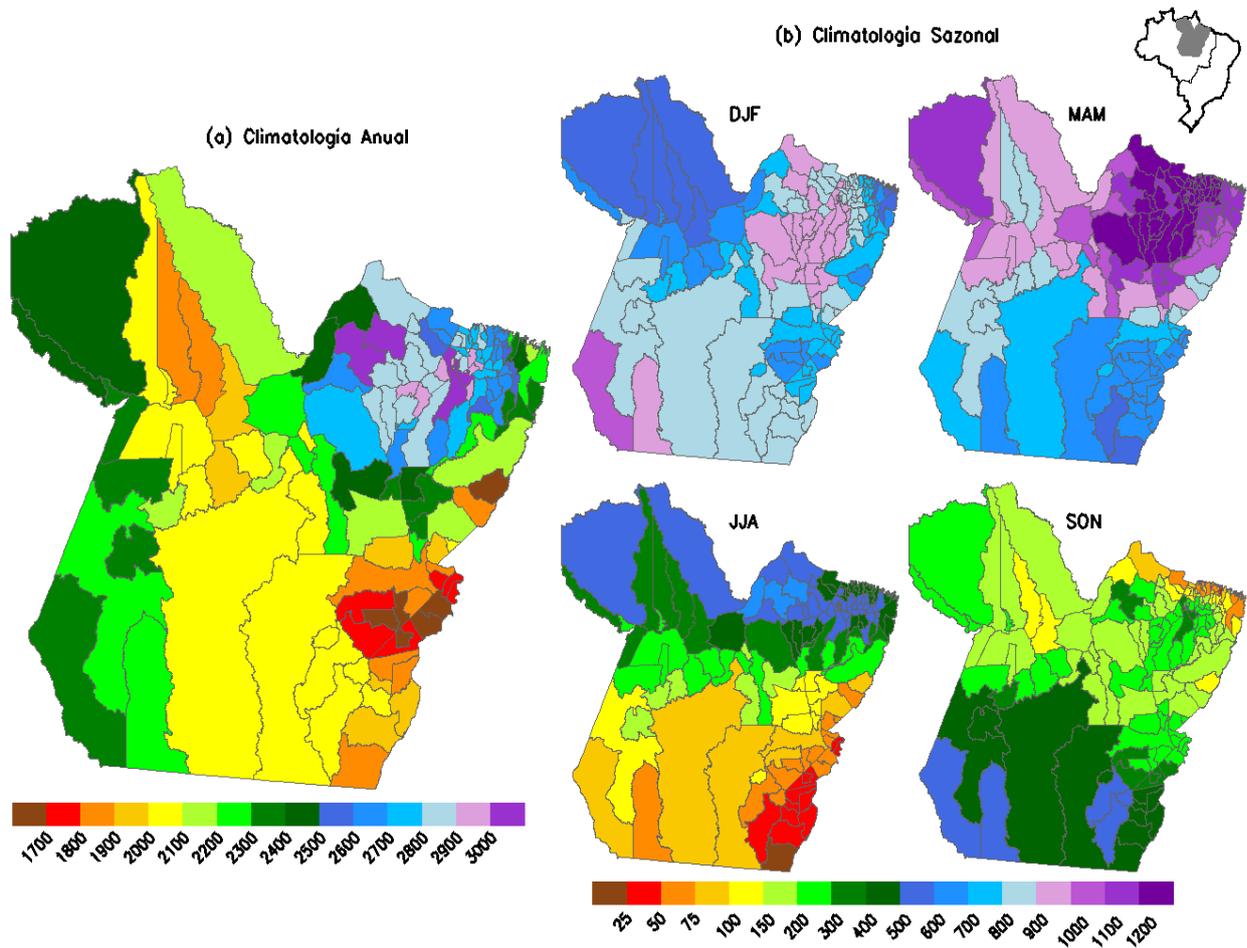
4.1 Análise dos extremos de precipitação

4.1.1 Configuração espacial da precipitação climatológica e dos extremos climáticos

Conforme apresentado na seção 3.2.2, serão utilizados os dados do TRMM para as análises realizadas neste capítulo de resultados. Inicialmente analisou-se a precipitação climatológica (média 1998 a 2015) anual e sazonal (Dezembro, Janeiro e Fevereiro - DJF, Março, Abril e Maio - MAM, Junho, Julho e Agosto - JJA e Setembro, Outubro e Novembro - SON) nos municípios do estado do Pará, conforme ilustrado na Figura 4. Considerando a média anual (Figura 4a), observa-se a presença de variabilidade espacial pronunciada ao longo dos municípios do estado, com uma configuração geral apresentando valores máximos (acima de 2500 mm) na porção nordeste (exceto no extremo leste), valores intermediários (entre 2100 e 2500 mm) na faixa ocidental desde sudoeste, oeste até o noroeste, e valores mínimos (abaixo de 2100 mm) numa faixa central desde o sul até o norte e também na porção sudeste e parte do leste do estado. Por outro lado, analisando as médias sazonais (Fig. 4b), constata-se que os trimestres DJF e MAM apresentam os volumes mais intensos (acima de 500 mm), caracterizando o período sazonal mais chuvoso ao longo do Pará. Valores pluviométricos predominantemente abaixo de 700 mm são verificados nos trimestres JJA e SON, quando se configura o período menos chuvoso ao longo do estado.

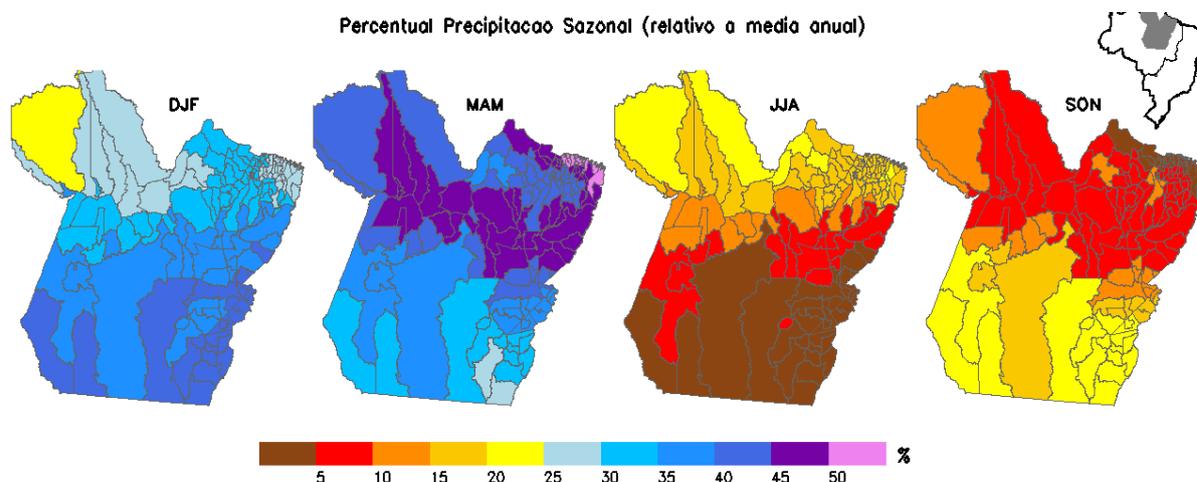
A configuração dos percentuais de precipitação sazonal (relativos ao total anual) mostrados na Figura 5, comprova que os trimestres DJF e MAM são os mais chuvosos (valores acima de 25%) e JJA e SON são os menos chuvosos (valores abaixo de 25%) do estado. Em DJF a porção centro-sul/sudeste apresenta maiores percentuais (entre 35 e 45%), enquanto em MAM as áreas situadas no centro, leste, nordeste e faixa litorânea se destacam com percentuais acima de 45%. JJA é o trimestre com menor percentual de precipitação, com o norte/nordeste entre 15 e 25% e o restante com volume pluviométrico sazonal bem reduzido (entre 5 e 10%). Em SON a área nordeste e litoral se caracteriza como a mais seca, com percentuais entre 5 e 10% e a porção sudoeste/sul com valores maiores, atingindo 15 a 25%.

Figura 4 - Climatologia (média 1998 a 2015) da precipitação nos municípios do estado do Pará para (a) média anual e (b) médias sazonais (DJF, MAM, JJA, SON). A escala de cores na parte inferior indica a magnitude em mm.



Fonte: Do autor

Figura 5 - Percentuais da precipitação sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) relativos ao total anual nos municípios do estado do Pará. A escala de cores na parte inferior indica a magnitude em %.



Fonte: Do autor

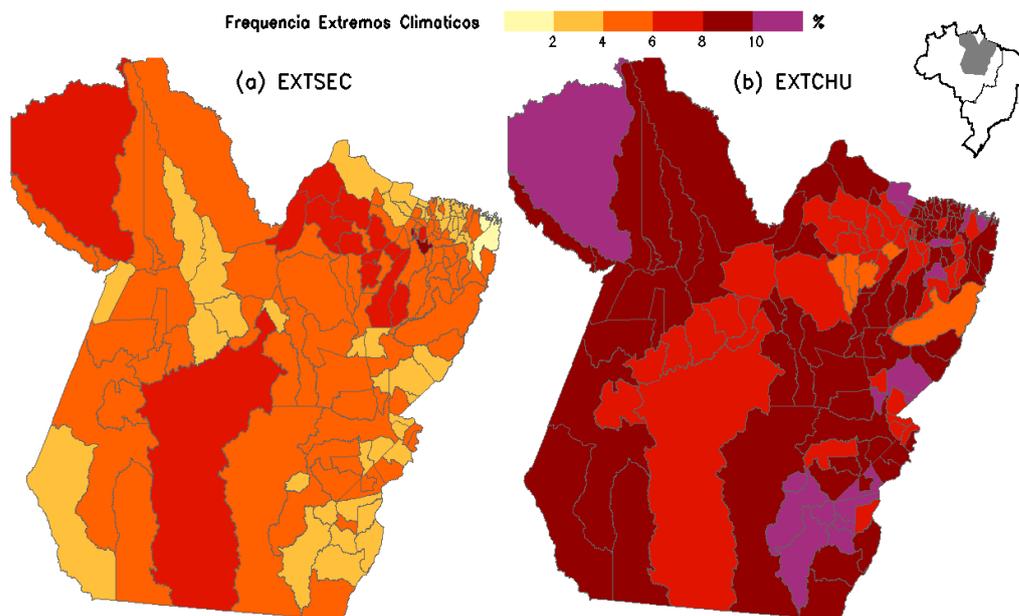
Os resultados da aplicação do SPI nos dados de precipitação dos municípios, com a configuração da frequência relativa dos EXTSEC e EXTCHU ao longo do Pará considerando a média anual e sazonal (DJF, MAM, JJA e SON) são mostrados nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

Em geral, na média anual da Figura 6, notam-se valores percentuais entre 6 e 10% para os EXTCHU e entre 2 e 8% para os EXTSEC, ou seja, a comparação da distribuição espacial revela que os extremos climáticos associados a excesso de precipitação são mais frequentes do que os eventos com déficit pluviométrico ao longo dos municípios do Pará. Concernente ao padrão anual do EXTSEC (Fig. 6a), observam-se vários municípios apresentando frequências menores do que 4% distribuídos nos setores sudoeste, sudeste, centro, oeste, leste e litoral, enquanto no restante do estado predominam valores maiores, entre 4 e 8%. Por outro lado, no mapa anual dos EXTCHU (Fig. 6b), destacam-se os municípios apresentando frequência alta de 10% nas áreas noroeste, sudeste, leste, nordeste e litoral. No restante dos municípios, percebem-se variações entre 6 e 10% espalhando-se ao longo de todo o estado.

A Figura 7 mostra a configuração espacial da frequência sazonal dos EXTSEC e EXTCHU ao longo do estado do Pará. No padrão de EXTCHU ao longo do estado, se verifica a ocorrência de extremos chuvosos se distribuindo durante os quatro trimestres do ano. A configuração dos EXTSEC demonstra a ausência de extremos secos em JJA em grande parte dos municípios situados no centro/sul do estado, bem como em SON principalmente nos municípios

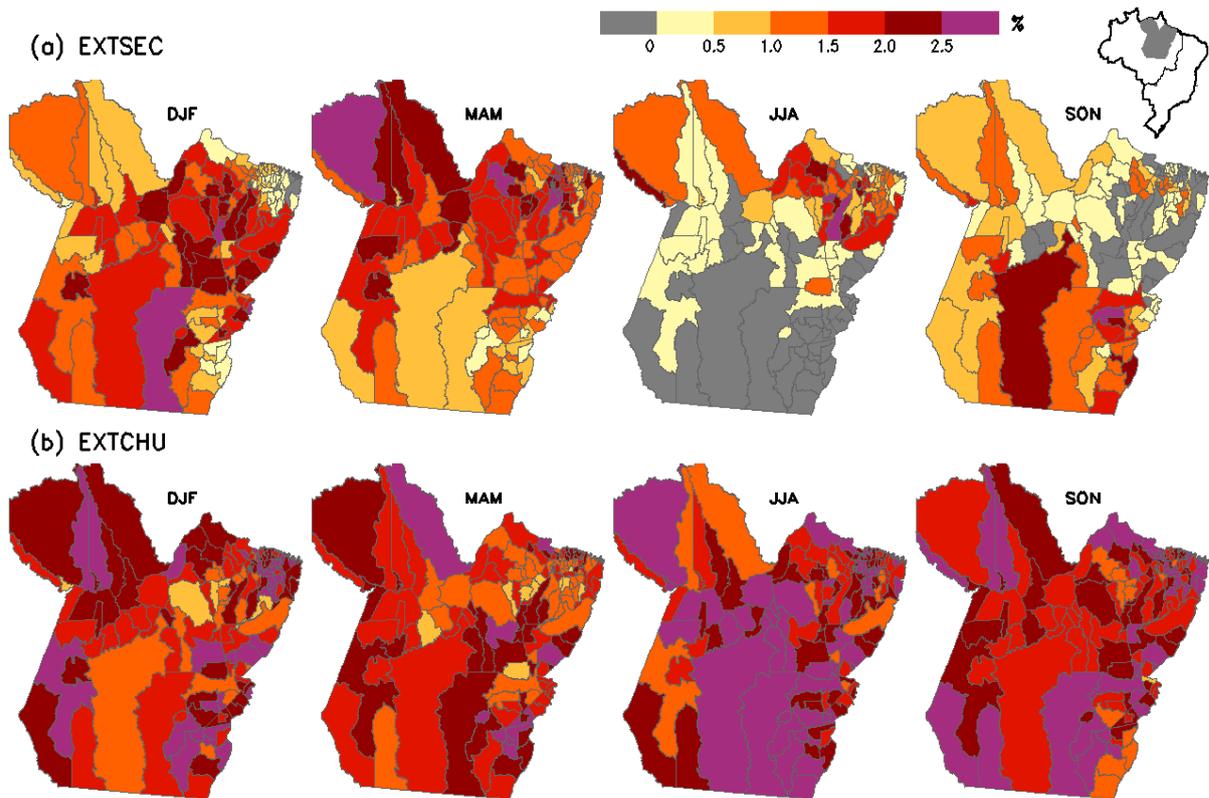
localizados no nordeste do estado. Portanto, tem-se mais uma explicação para a maior frequência dos EXTCHU (que se distribuem ao longo de todo o ano) em relação aos EXTSEC (que apresentam sazonalidade e ocorrem em determinados trimestres do ano).

Figura 6 - Frequência anual dos Extremos Climáticos (a) EXTSEC e (b) EXTCHU nos municípios do estado do Pará, durante o período de 1998 a 2015. A escala de cores na parte superior indica a magnitude em %.



Fonte: Do autor

Figura 7 - Frequência sazonal (DJF, MAM, JJA, SON) dos Extremos Climáticos (a) EXTSEC e (b) EXTCHU nos municípios do estado do Pará, durante o período de 1998 a 2015. A escala de cores na parte superior indica a magnitude em %.



Fonte: Do autor

4.1.2 Mecanismos climáticos associados aos eventos extremos

Na Tabela 7 mostra-se o número total de municípios do estado que registraram eventos EXTCHU e EXTSEC nos trimestres DJF, MAM, JJA e SON entre os anos de 1998 a 2015. Nota-se grande variabilidade interanual em ambos extremos climáticos no período estudado. Com a finalidade de se investigar a dinâmica dos mecanismos oceânicos e atmosféricos que explicam a ocorrência destes extremos, foram selecionados os anos em que o número de municípios representou mais do que 55% (do total de 143 no estado). Usando este critério em cada trimestre, a Tabela 7 destaca os anos de EXTCHU em azul e os anos de EXTSEC em vermelho. Tais anos representam predominância de extremos chuvosos e secos atingindo grande parte do estado do

Pará, os quais são usados para gerar as composições (médias dos anos selecionados nos respectivos trimestres) dos padrões anômalos das variáveis oceânicas e atmosféricas.

Tabela 7 - Quantidade total de municípios do Pará com registro de EXTCHU e EXTSEC nos trimestres de DJF, MAM, JJA e SON no período de 1998 a 2015.

| | EXTCHU | | | | EXTSEC | | | |
|------|--------|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|
| | DJF | MAM | JJA | SON | DJF | MAM | JJA | SON |
| 1998 | 0 | 0 | 21 | 60 | 52 | 131 | 36 | 3 |
| 1999 | 5 | 58 | 10 | 87 | 44 | 8 | 91 | 1 |
| 2000 | 131 | 61 | 115 | 113 | 0 | 6 | 1 | 3 |
| 2001 | 98 | 4 | 48 | 18 | 7 | 79 | 13 | 60 |
| 2002 | 7 | 3 | 14 | 2 | 52 | 75 | 67 | 83 |
| 2003 | 34 | 10 | 44 | 31 | 41 | 69 | 40 | 23 |
| 2004 | 72 | 2 | 68 | 14 | 4 | 85 | 8 | 47 |
| 2005 | 3 | 25 | 0 | 10 | 104 | 39 | 109 | 78 |
| 2006 | 87 | 109 | 7 | 96 | 4 | 0 | 78 | 20 |
| 2007 | 1 | 11 | 12 | 79 | 68 | 52 | 67 | 44 |
| 2008 | 81 | 69 | 43 | 18 | 7 | 29 | 47 | 22 |
| 2009 | 41 | 136 | 37 | 0 | 14 | 1 | 14 | 120 |
| 2010 | 10 | 5 | 55 | 25 | 72 | 117 | 41 | 29 |
| 2011 | 81 | 89 | 39 | 88 | 1 | 1 | 17 | 17 |
| 2012 | 10 | 4 | 34 | 7 | 99 | 116 | 16 | 114 |
| 2013 | 19 | 69 | 85 | 80 | 60 | 3 | 1 | 25 |
| 2014 | 70 | 87 | 43 | 37 | 5 | 18 | 48 | 41 |
| 2015 | 0 | 59 | 3 | 0 | 104 | 44 | 88 | 143 |

Fonte: Do autor

As Figuras 8, 9, 10 e 11 mostram as composições correspondentes aos EXTSEC (figuras à esquerda) e EXTCHU (figuras à direita) nos trimestres de DJF, MAM, JJA e SON, respectivamente. As variáveis plotadas representam anomalias (médias dos anos selecionados na Tabela 7 subtraídas da média de todo o período 1998/2015). Analisam-se os padrões anômalos de TSM, vento divergente e CHI em baixos níveis no domínio que engloba o Oceano Pacífico, América do Sul e Oceano Atlântico (figuras na parte superior), ROL, vento divergente e CHI em altos níveis sobre a América do Sul (figuras na parte intermediária) e o índice SPI da precipitação (figuras na parte inferior) no estado do Pará, destacando valores acima de 1 (chuva acima da média) e abaixo de 1 (chuva abaixo da média).

Na composição de DJF (Figura 8) evidenciam-se padrões de TSM, ROL e de vento nos baixos e altos níveis essencialmente inversos quando se compara o EXTSEC com o EXTCHU.

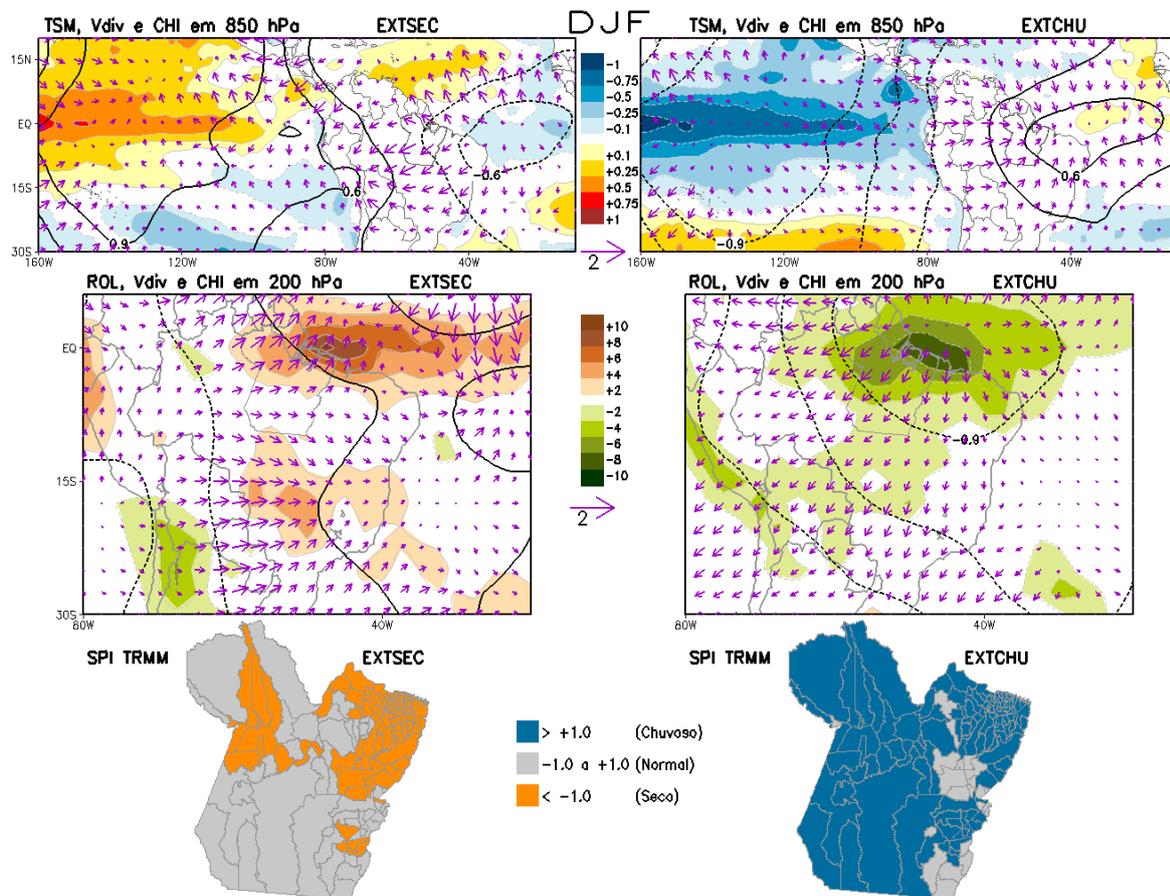
Para os EXTSEC (Fig. 8, painel à esquerda), observa-se a predominância de anomalias positivas (águas oceânicas mais quentes do que o normal) sobre a bacia do Oceano Pacífico equatorial, indicativo da presença do fenômeno El Niño. Sobre o Oceano Atlântico nota-se um padrão inverso com anomalias positivas na bacia norte e negativas na bacia sul, cuja configuração resulta num padrão de CHI negativo e vento divergente em baixos níveis atingindo o nordeste do Brasil (leste da Amazônia e nordeste brasileiro). As anomalias positivas de ROL indicam inibição anômala da nebulosidade sobre uma grande área que abrange o Pará e Oceano Atlântico adjacente, com um padrão de CHI positivo e vento convergente em altos níveis. Em consequência, verifica-se um padrão de SPI negativo nos municípios do oeste, leste e nordeste do Pará. Por outro lado, para os EXTCHU (Fig. 8, painel à direita), notam-se anomalias negativas de TSM (águas oceânicas mais frias do que o normal) sobre a bacia do Oceano Pacífico equatorial, indicando a manifestação do fenômeno La Niña, enquanto que o Oceano Atlântico equatorial apresenta anomalias positivas com um padrão de CHI positivo e vento convergente em baixos níveis. As anomalias negativas de ROL revelam intensificação da nebulosidade tropical sobre o leste da Amazônia, com uma configuração bem típica da presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a região. Assim, o padrão de SPI é positivo na maior parte dos municípios do estado do Pará.

Na composição de MAM da Figura 9, considerando os EXTSEC (Fig. 9, painel à esquerda), ainda verifica-se a atuação do padrão de El Niño sobre o Oceano Pacífico, devido a presença de anomalias positivas de TSM, enquanto que no Atlântico norte a configuração de anomalias positivas é intensificado, resultando num padrão de CHI positivo e vento convergente bem ao norte da bacia. As anomalias positivas de ROL também se fortalecem, ocasionando inibição significativa da nebulosidade sobre o Brasil tropical e adjacências do Atlântico equatorial, explicando a predominância de SPI negativo na maior parte dos municípios do Pará. Concernente aos EXTCHU (Fig. 9, painel à direita), o padrão de resfriamento oceânico da La Niña se enfraquece em relação ao trimestre anterior (anomalias negativas de TSM), porém a configuração de TSM no Atlântico fica bem estabelecida, com anomalias negativas na bacia norte e positivas na bacia sul. Este padrão revela claramente a manifestação do modo gradiente de TSM apontando ao sul do equador, que está associado ao movimento da ZCIT rumo ao hemisfério meridional, como apontado pela extensa área contendo anomalias negativas de ROL encobrendo a Amazônia e Nordeste brasileiro. Conseqüentemente, grande parte dos municípios do Pará apresentam SPI positivo.

Na composição de JJA (Figura 10), para os EXTSEC (Fig. 10, painel à esquerda) o padrão de TSM mostra uma área contendo anomalia positiva de TSM no Pacífico equatorial e no Atlântico equatorial norte. O campo de vento divergente em baixos níveis e convergente em altos níveis associa-se com a área positiva de ROL sobre o Pará, indicando a ausência de nebulosidade sobre a região, o que explica a presença de SPI negativo atingindo grande parte dos municípios do Pará. Para os EXTCHU (Fig. 10, painel à direita), o Oceano Pacífico tropical e o Oceano Atlântico equatorial apresentam anomalias negativas de TSM. No campo de ROL observa-se uma grande faixa contendo anomalias negativas sobre a porção oeste da Amazônia conectando também as regiões ao nordeste que inclui o estado do Pará. Estes padrões se relacionam com a ocorrência de SPI positivo em grande parte do estado.

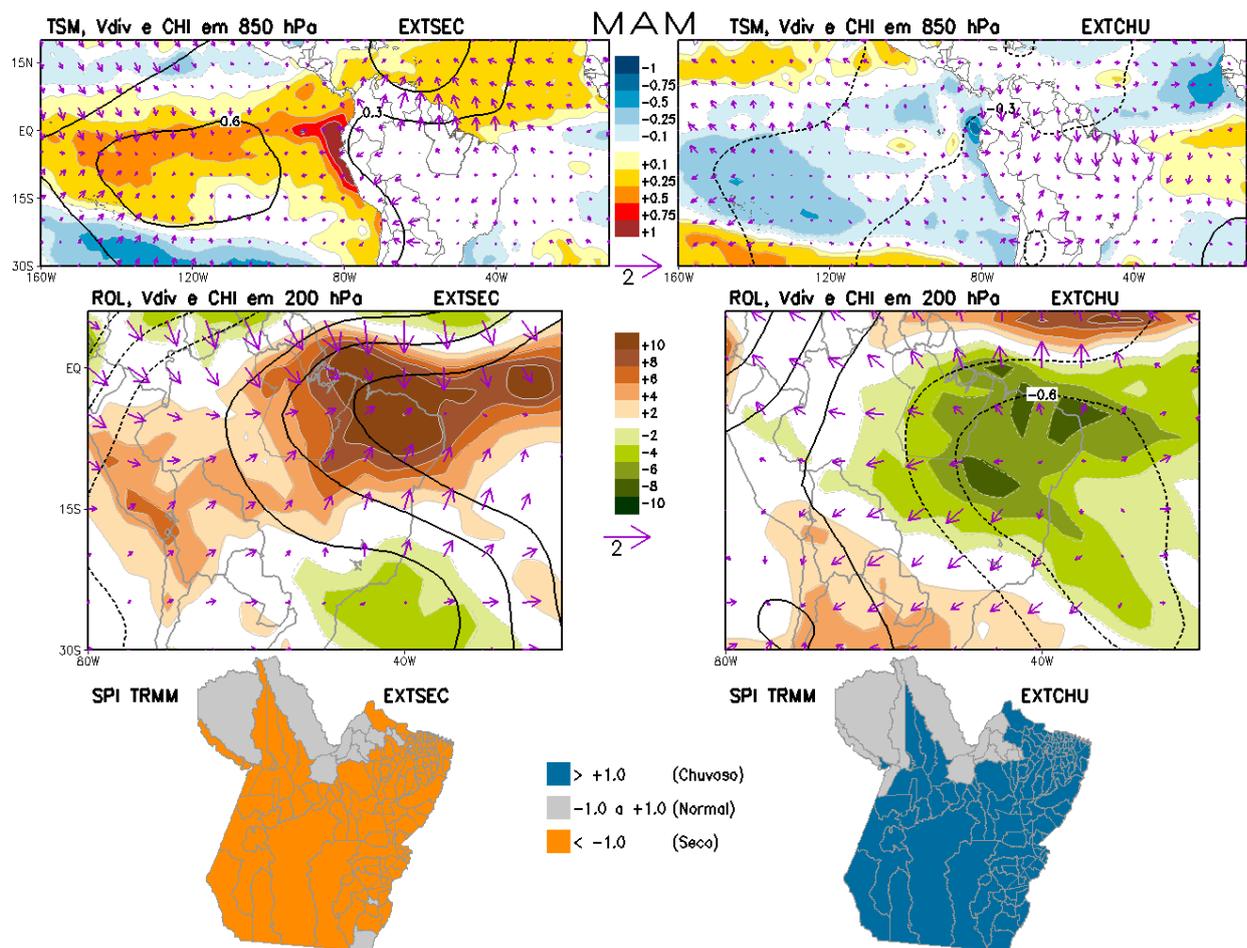
Na composição de SON (Figura 11), para os EXTSEC (Fig. 11, painel à esquerda), resalta-se o padrão muito intenso de anomalias positivas de TSM, associado ao fenômeno El Niño sobre o Oceano Pacífico tropical, o qual provoca sobre a Amazônia o aparecimento de uma grande área com CHI negativo e vento divergente em baixos níveis, bem como um padrão de ROL positivo (inibição de nuvens) e vento convergente em altos níveis, explicando a predominância de SPI negativo sobre a maior parte dos municípios do estado do Pará. Para os EXTCHU (Fig. 11, painel à direita), o campo de TSM indica a presença de anomalias negativas de TSM sobre o Oceano Pacífico tropical e em grande parte do Oceano Atlântico. Nota-se uma área de CHI positivo com convergência do vento em baixos níveis e divergência em altos níveis, favorecendo a formação de nebulosidade acima do normal sobre a Amazônia, cujos padrões explicam o aparecimento de SPI positivo ao longo dos municípios do Pará.

Figura 8 - Composições de DJF das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência Vdiv é 2 m/s.



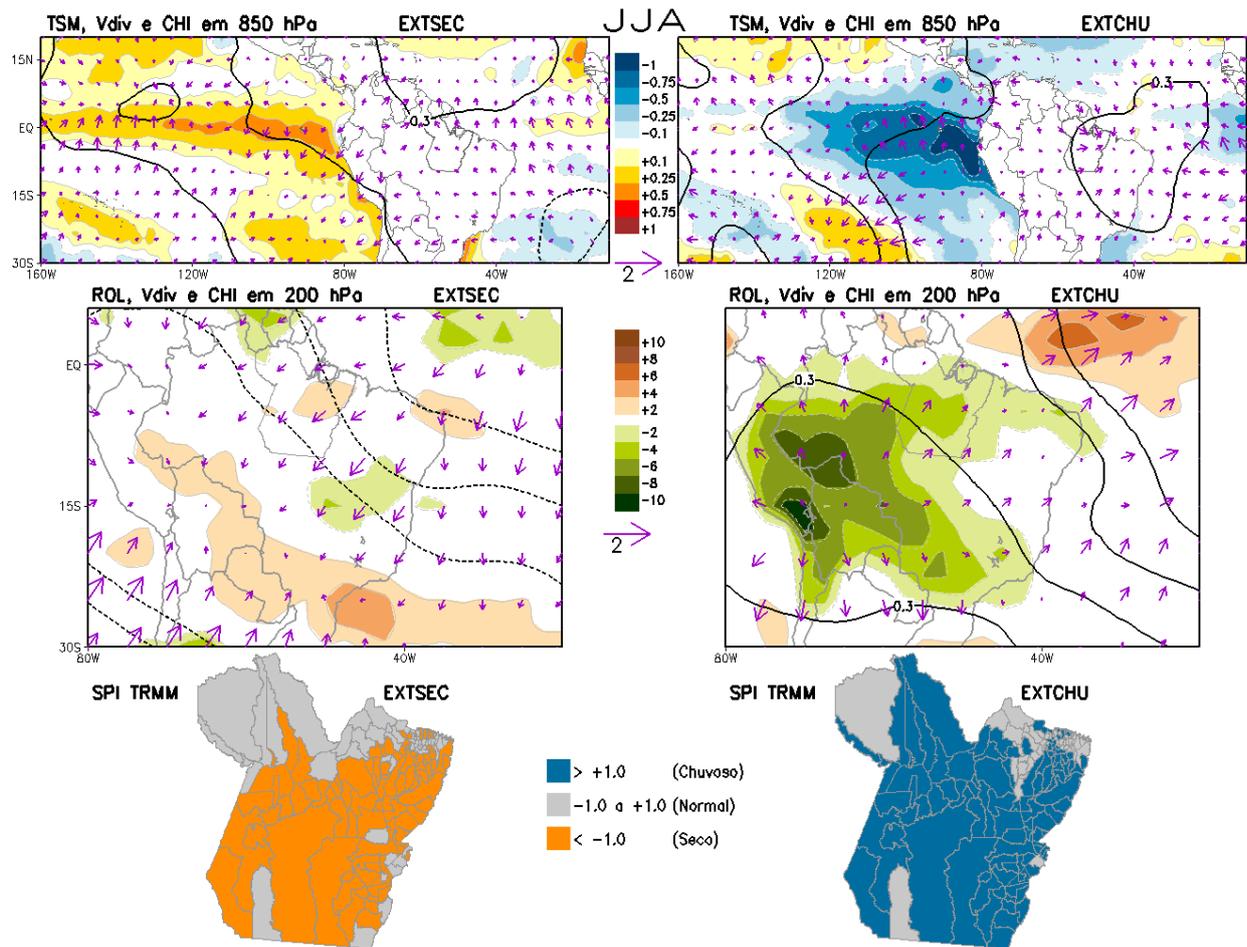
Fonte: Do autor

Figura 9 - Composições de MAM das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência para Vdiv é 2 m/s.



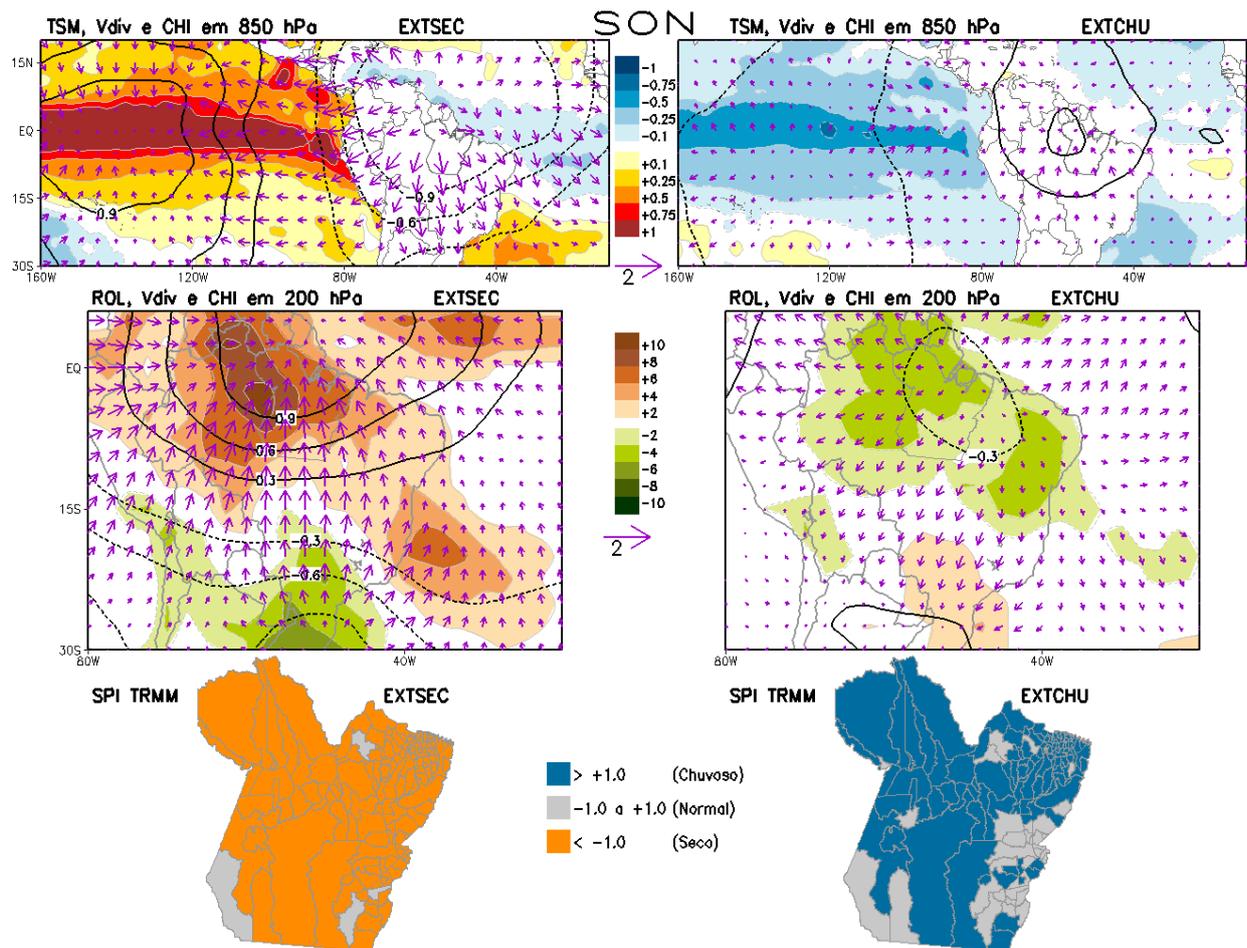
Fonte: Do autor

Figura 10 - Composições de JJA das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência para Vdiv é 2 m/s.



Fonte: Do autor

Figura 11 - Composições de SON das anomalias de TSM, Vdiv e χ em 850 hPa (painel superior), ROL, Vdiv e χ em 200 hPa (painel intermediário) e SPI da precipitação TRMM (painel inferior) correspondentes aos anos de extremos climáticos secos (painel à esquerda) e chuvosos (painel à direita). Unidades: TSM ($^{\circ}\text{C}$), Vdiv (m/s) e χ (m^2/s^2), ROL (W/m^2), SPI (desvio padrão). A magnitude dos contornos sombreados de TSM, ROL e SPI são indicados nas escalas de cores entre as figuras. O vetor referência para Vdiv é 2 m/s.



Fonte: Do autor

4.2 Vulnerabilidade e avaliação do risco climático-sócio-ambiental

Todos os índices calculados foram divididos em três categorias para a análise espacial no formato de mapas. Adicionalmente, serão apresentados gráficos indicando os indicadores que mais contribuíram negativamente para determinação do grau de vulnerabilidade. Ao final, será apresentado o produto da exposição e a vulnerabilidade, que resultará no risco aos extremos climáticos para os municípios do estado do Pará.

4.2.1 Análise integrada da vulnerabilidade

4.2.1.1 Suscetibilidade

A Figura 12 mostra a análise espacial do grau de suscetibilidade dos municípios paraenses. É perceptível a distinção entre municípios da porção sul e porção norte do estado. A maior parte dos municípios do sul paraense apresenta baixo grau de suscetibilidade, a saber: Itaituba, Novo Progresso, Altamira, São Félix do Xingu, Marabá, Parauapebas, Canaã dos Carajás, Floresta do Araguaia, entre outros. Na porção oeste/noroeste, os municípios com baixo grau de suscetibilidade são Santarém, Terra Santa e Almeirim. Na parte leste/nordeste, os municípios com baixa suscetibilidade são Soure, Barcarena, Belém, Ananindeua, Marituba, Santa Isabel do Pará, Castanhal, Quatipuru, Capanema, Paragominas, Ulianópolis, entre outros.

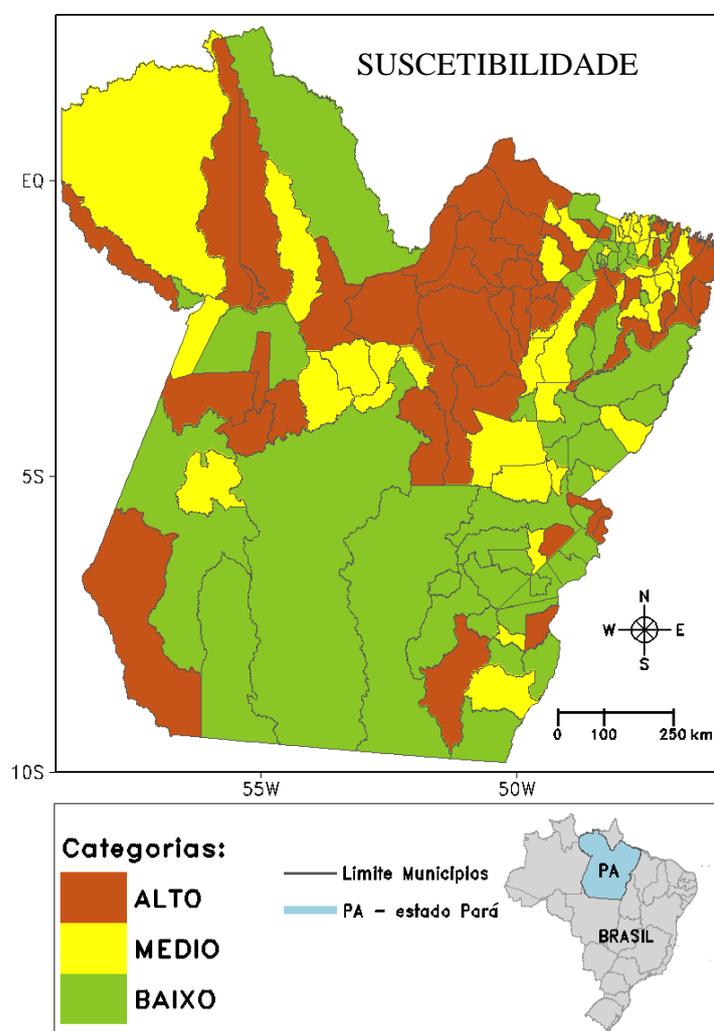
Dentro do grau médio de suscetibilidade, a maior parte dos municípios inseridos na categoria encontra-se no nordeste do estado, como Bragança, Curuçá, Magalhães Barata, Marapanim, Moju, São Miguel do Guamá etc. Os demais municípios podem ser encontrados em quase todas as porções do Pará.

Em vermelho destacam-se os municípios categorizados com grau de suscetibilidade alto, sendo em maior quantidade aqueles localizados na porção norte do estado, em especial na ilha de Marajó, como: Afuá, Anajás, Chaves, Breves, Gurupá, Melgaço, Salvaterra, Ponta de Pedras e Curalinho, por exemplo. Vale destacar que os municípios localizados no nordeste do estado, na divisa com o Maranhão, também apresentaram alto grau de suscetibilidade, como: Augusto Corrêa, Viseu, Cachoeira do Piriá, Nova Esperança do Piriá, Garrafão do Norte, etc. Outros municípios espalhados pelo estado também foram classificados com o mesmo grau, por

exemplo, Jacareacanga (sudoeste), Cumaru do Norte e Floresta do Araguaia (sudeste), além de Alenquer e Óbidos (noroeste).

A Tabela 8 mostra os 10 municípios com maior grau de suscetibilidade, cinco dos quais estão localizados na mesorregião do Marajó, dois no Sudoeste, dois no Baixo Amazonas e um no Nordeste paraense. Foram selecionados os 10 piores municípios por corresponderem a 7% do total de municípios do estado. Lembrando que o grau de suscetibilidade se refere a média entre os quatorze indicadores do eixo temático (Tabela 2).

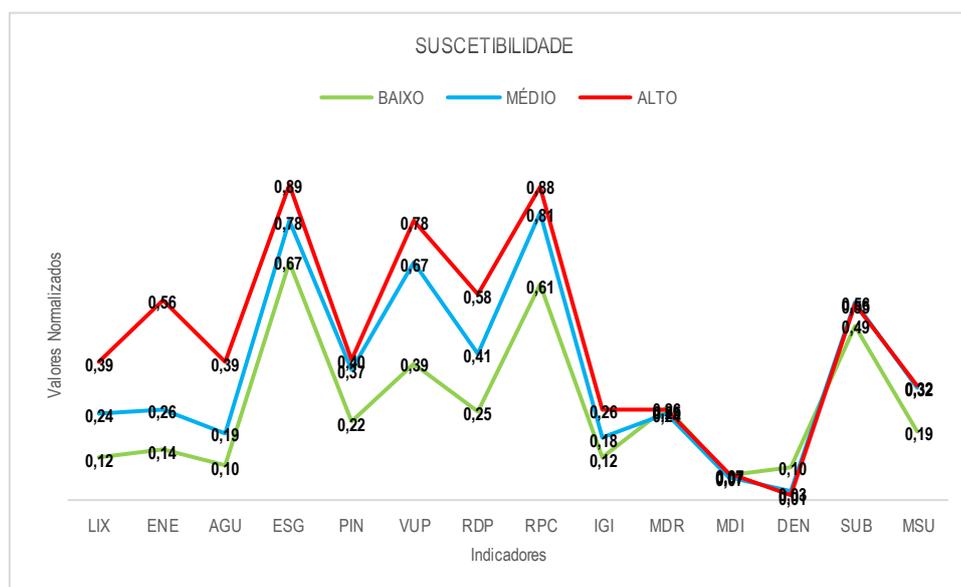
Figura 12 - Grau de Suscetibilidade dos municípios do estado do Pará.



Fonte: Do autor

Para uma visão integrada da contribuição de cada indicador para a determinação do grau de suscetibilidade, a Figura 13 mostra os valores normalizados médios para os 14 indicadores de suscetibilidade nos municípios classificados com grau baixo, médio e alto. No gráfico percebe-se a diferença de valores entre as categorias, sendo que para alguns indicadores são imperceptíveis as discrepâncias, sinalizando que o indicador não foi determinante para a classificação do grau de suscetibilidade. Nota-se que a mortalidade por doenças respiratórias e o número de casos de dengue foram inexpressivos nas três categorias, pois os valores alcançados foram muito próximos a zero. Em contrapartida, o percentual de domicílios com acesso a esgotamento sanitário, o percentual de vulneráveis a pobreza e renda per capita atingiram acima de 0,60 naqueles municípios categorizados com grau baixo. Os municípios com grau alto apresentaram valores de quase 0,90, caracterizando um desempenho insatisfatório nos quesitos.

Figura 13 - Gráfico com os valores normalizados dos indicadores, considerando os municípios que apresentaram suscetibilidade nos graus baixo, médio e alto.



Fonte: Do autor

Fazendo uma análise específica dos 10 municípios com alto grau de suscetibilidade, alguns indicadores se destacaram com desempenho muito abaixo do limite aceitável, contribuindo assim para que tais municípios fossem classificados em nível elevado de suscetibilidade. Na ordem, a Renda Per Capita, o Percentual de Domicílios com Esgotamento Sanitário, o Percentual de Vulneráveis a Pobreza e o Percentual de Domicílios com Acesso à

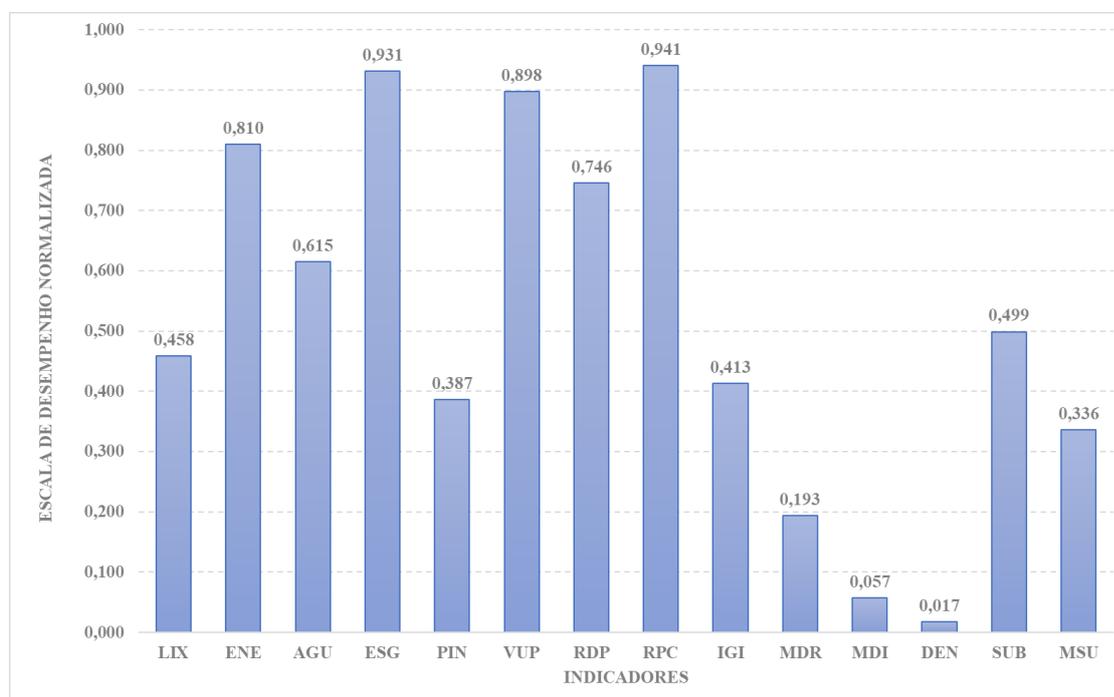
Energia Elétrica apresentaram valores médios acima de 0,800 na escala normalizada, conforme ilustrado na Figura 14, sendo que a média dos indicadores para todos os 143 municípios paraenses é inferior ao referido valor. Vale ressaltar que, mesmo nos municípios com alto grau de suscetibilidade, o desempenho nos indicadores de saúde (Mortalidade por Doenças Respiratórias, Mortalidade por Doenças Infecciosas e Número de casos de Dengue) foi muito bom, uma vez que os valores normalizados se aproximaram de zero.

Tabela 8 - 10 municípios paraenses com maior grau de suscetibilidade.

| Município | Mesorregião | Grau de Suscetibilidade |
|--------------------|----------------|-------------------------|
| Melgaço | Marajó | 0,581 |
| Afuá | Marajó | 0,567 |
| Anajás | Marajó | 0,543 |
| Aveiro | Sudoeste | 0,539 |
| Prainha | Baixo Amazonas | 0,537 |
| Curuá | Baixo Amazonas | 0,529 |
| Chaves | Marajó | 0,528 |
| Cachoeira do Piriá | Nordeste | 0,505 |
| Bagre | Marajó | 0,503 |
| Pacajá | Sudoeste | 0,501 |

Fonte: Do autor

Figura 14 - Valores médios dos indicadores de suscetibilidade para os 10 municípios com pior desempenho no eixo temático.



Fonte: Do autor

4.2.1.2 Capacidade de resposta

A Figura 15 representa a espacialização do grau de Capacidade Resposta para os municípios paraenses. Aqueles localizados na parte oeste do estado apresentam boa capacidade de resposta, denotado pelo predomínio da cor verde. A exceção de Faro e Terra Santa, todos os municípios da Calha Norte do Baixo Amazonas foram caracterizados com boa capacidade de resposta, assim como a maioria daqueles localizados no sudoeste do Pará.

Em amarelo, destacam-se os municípios em condição intermediária quanto a Capacidade de Resposta, sendo uma minoria na porção oeste, sudeste, e a maioria no nordeste do estado, como Benevides, Moju, Paragominas, Tomé-Açu, Viseu, entre outros.

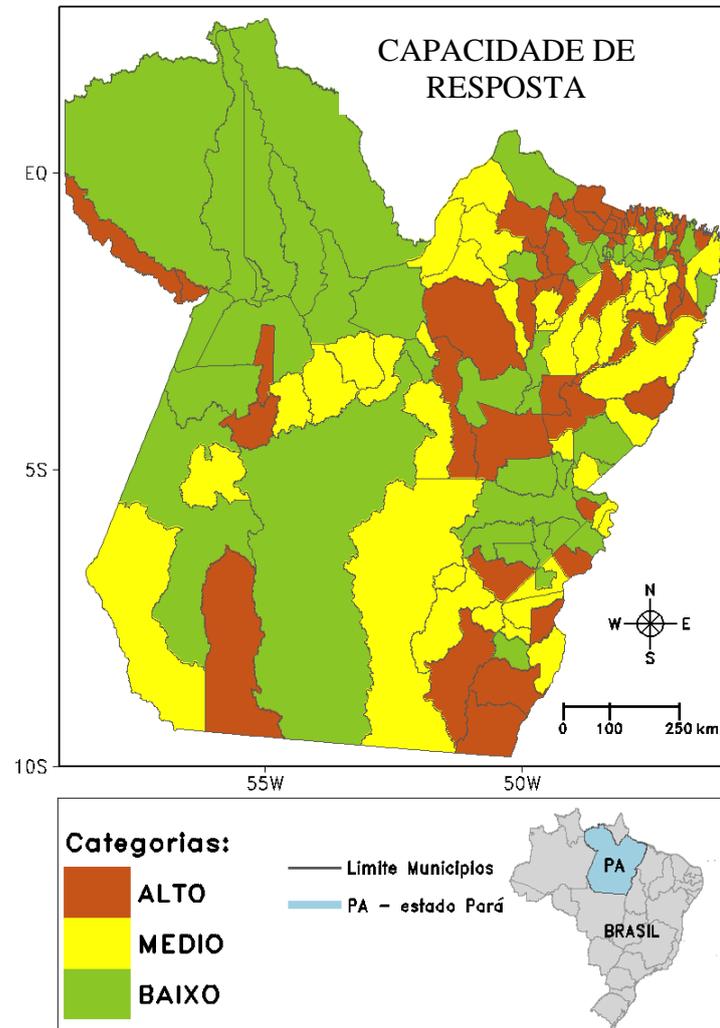
O leste do Pará exibe maior quantidade de municípios com incapacidade de uma rápida resposta diante de uma ameaça materializada. As cores em vermelho indicam que municípios como: Acará, Capitão Poço, Colares, Marapanim, Salvaterra, Soure, Vigia, Xinguara, Ulianópolis, Jacundá, Faro, Rio Maria, entre outros. Alguns localizados no leste da ilha de Marajó, e outros na faixa litorânea, nordeste paraense e sudeste do estado.

Esse padrão espacial do grau da Capacidade de Resposta no Pará mostra que as características das mesorregiões são determinantes para definir os municípios com menor ou maior grau. O Nordeste e o Sudeste do Pará, onde localizam-se as cidades mais populosas, apresentaram uma maior ineficácia na capacidade de resposta, demonstrando falta de eficiência para atender as demandas da população.

Outro tipo de análise em relação ao grau de falta de capacidade de resposta é mostrado na Figura 15, que ilustra graficamente os valores normalizados médios dos indicadores para os municípios categorizados em cada classe (baixa, média e alta). Nota-se que os indicadores relativos à rede de comunicação não representaram um fator agravante a quanto a falta de capacidade de resposta. Por outro lado, os indicadores de estrutura local para resposta a desastres, medidas estruturais para reduzir desastres e população vulnerável a desastres que está cadastrada em programas habitacionais foram decisivos para a categorização. Para os municípios classificados com grau baixo, os três indicadores registraram valores significativamente inferiores ao grau imediatamente superior, sendo a mesma característica observada para os municípios de grau médio. Assim, os municípios com alto grau de falta de capacidade de resposta alcançaram valores médios próximo a escala máxima.

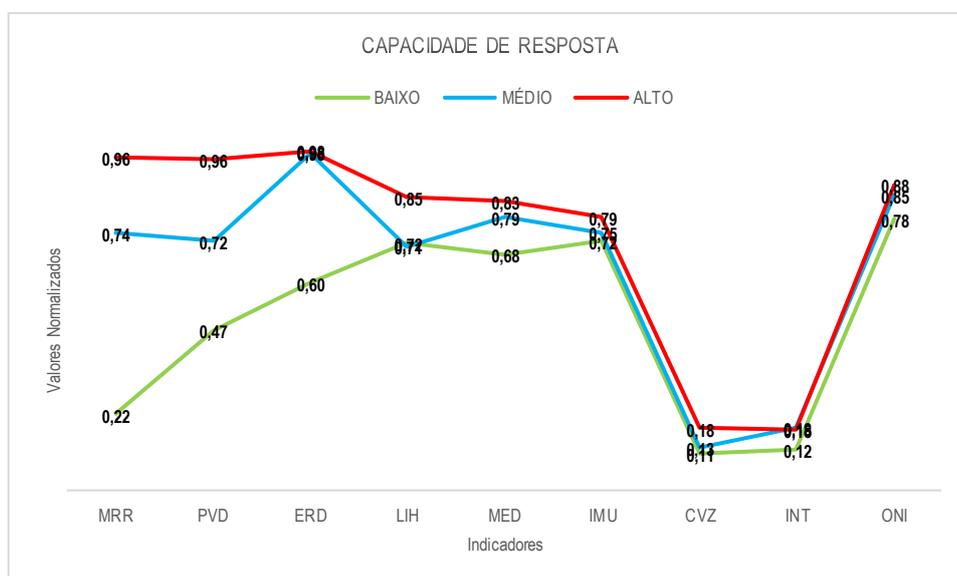
A Tabela 9, que mostra os 10 municípios com pior desempenho no quesito capacidade de resposta, comprova que a maioria se encontra no Nordeste e Sudeste. Sete dos dez municípios estão localizados em tais mesorregiões, sendo Nova Esperança do Piriá e Colares, do Nordeste paraense, nas duas primeiras posições, e Santana do Araguaia e Cumarú do Norte, do Sudeste estado, na terceira e quarta posição, respectivamente.

Figura 15 - Falta de capacidade de resposta nos municípios do estado do Pará.



Fonte: Do autor

Figura 16 - Gráfico com os valores normalizados dos indicadores, considerando os municípios inseridos em cada grau de falta de capacidade de resposta.



Fonte: Do autor

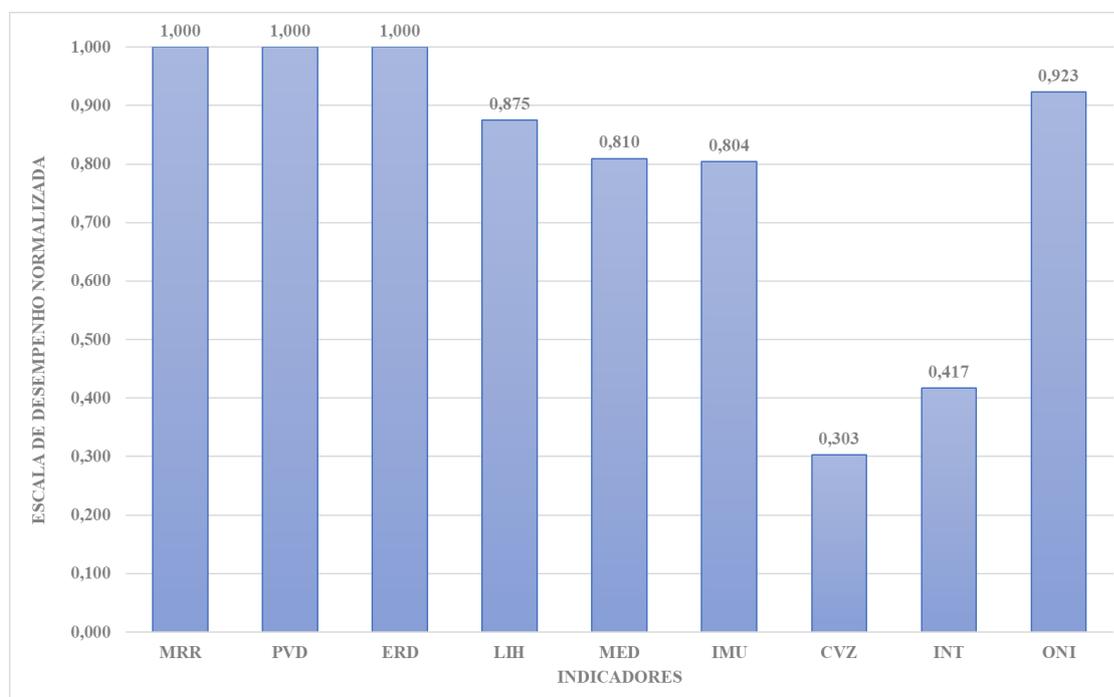
Sob o ponto de vista dos indicadores que contribuíram para a determinação do grau da capacidade de resposta, a Figura 17 mostra os valores médios dos nove indicadores utilizados para a composição. Entre os quais, a ausência de medidas estruturais para a redução de risco, a existência de pessoas em condições de vulnerabilidade a desastres e a falta de estrutura local para resposta a desastres apresentaram valores normalizados iguais a 1, isto é, caracterizando uma deficiência nos indicadores selecionados. Outros indicadores como a quantidade de ônibus a cada 1000 habitantes e o número de leitos de internação em hospitais a cada 1000 habitantes também se demonstraram insatisfatórios e contribuíram para que os municípios listados na Tabela 9 fossem classificados como os piores em relação a falta de uma capacidade de resposta diante da exposição a uma ameaça. Por outro lado, os indicadores associados a rede de comunicação (Conexão de Voz e Conexão de Dados e Internet Móvel) tornaram evidente que, mesmo com deficiência em outros quesitos importantes, os municípios classificados com baixa capacidade de resposta apresentam bom desempenho quanto a comunicação.

Tabela 9 - 10 municípios paraenses com maior falta de capacidade de resposta.

| Município | Mesorregião | Falta de Capacidade de Resposta |
|---------------------------|--------------------|--|
| Colares | Nordeste | 0,878 |
| Nova Esperança do Piriá | Nordeste | 0,872 |
| Santana do Araguaia | Sudeste | 0,852 |
| Muaná | Marajó | 0,802 |
| Cumaru do Norte | Sudeste | 0,800 |
| Acará | Nordeste | 0,797 |
| Rurópolis | Sudoeste | 0,790 |
| Primavera | Sudeste | 0,787 |
| Santa Maria das Barreiras | Sudoeste | 0,786 |
| Terra Santa | Baixo Amazonas | 0,781 |

Fonte: Do autor

Figura 17 - Valores médios dos indicadores do eixo temático capacidade de resposta para os 10 municípios com pior desempenho.



Fonte: Do autor

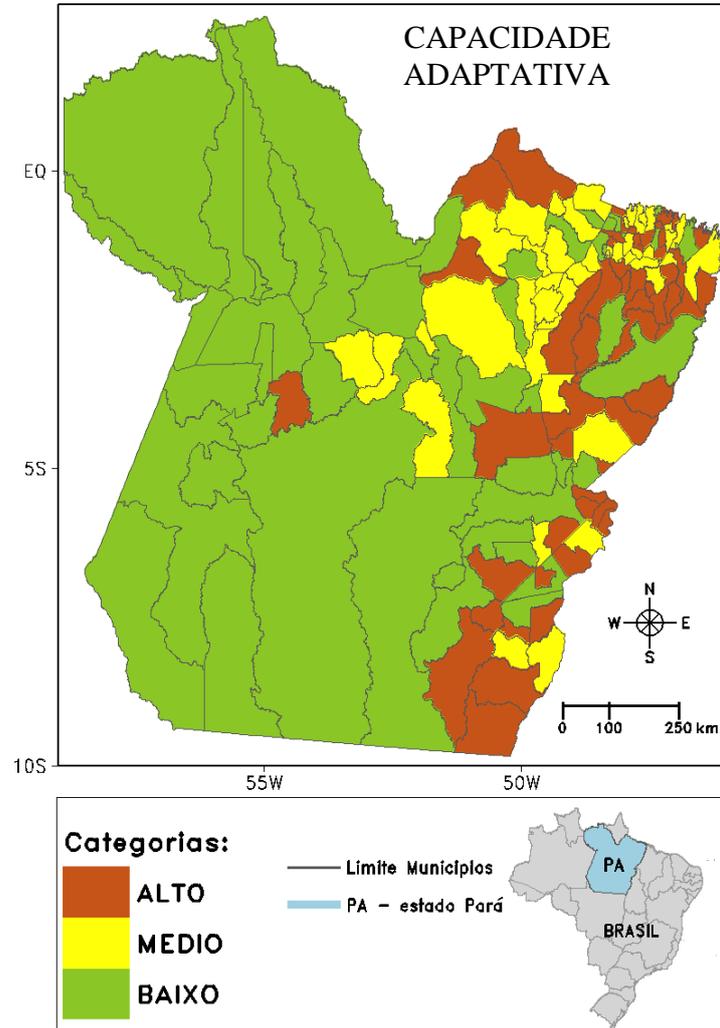
4.2.1.3 Capacidade adaptativa

Quanto à capacidade adaptativa, a composição dos onze indicadores resultou no mapa da Figura 18, que ilustra a incapacidade dos municípios paraenses em dar uma resposta em longo prazo diante de um perigo natural. A distribuição espacial mostra que, exceto Medicilândia, Brasil Novo, Senador José Porfírio e Placas, todos os municípios do oeste paraense apresentaram alta capacidade adaptativa. Os indicadores que mais contribuíram para que estes fossem classificados positivamente foram o baixo percentual de áreas degradadas, de desmatamento, a existência de ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres e, principalmente, a presença de legislação e instrumentos de planejamento.

Notadamente, os municípios localizados na ilha de Marajó, bem como parte daqueles situados nas mesorregiões Nordeste e Sudeste apresentaram uma falta de capacidade adaptativa média ou alta, como por exemplo Santana do Araguaia e Santa Maria das Barreiras no extremo sudeste paraense.

A Figura 19 ilustra uma outra visão sobre a quantidade de municípios em cada escala de desempenho, bem como a contribuição de cada indicador para que tais municípios fossem classificados nos graus baixo, médio e alto. O percentual de crianças entre 6 e 14 anos de idade que estão fora da escola e o percentual de áreas degradadas não se mostraram uma problemática para os municípios paraenses. Todavia, indicadores como o percentual de pessoas com idade acima de 25 anos que possuem nível superior e o desperdício de água apresentaram valores médios muito próximos um dos outros nas três categorias, assinalando que não foram determinantes para a categorização dos municípios. Entretanto, quando analisados os indicadores de legislação e instrumentos de planejamento, bem como ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres, percebe-se uma evidente distinção entre os valores médios para os graus baixo, médio e alto, sendo elevada a amplitude entre os mínimos e máximos. Esse comportamento denota que ambos os indicadores foram fundamentais para a determinação do grau de falta de capacidade adaptativa nos municípios.

Figura 18 - Falta de capacidade adaptativa nos municípios do estado do Pará.

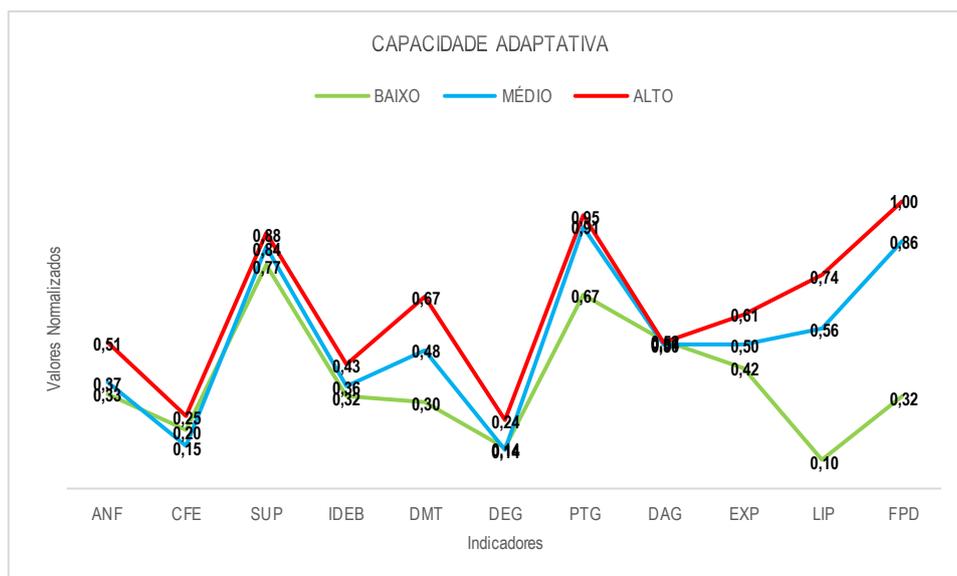


Fonte: Do autor

A Tabela 10 mostra que dos 10 municípios do Pará com pior capacidade adaptativa, 60% está situado na mesorregião Nordeste e 40% localizado na mesorregião Sudeste. Na Figura 20, podem ser observados que os indicadores que mais contribuíram para o mau desempenho foram: o desmatamento acumulado, o percentual de pessoas acima de 25 anos de idade com ensino superior, o percentual de áreas protegidas e, especialmente, a ausência tanto de legislação e instrumentos de planejamento, quanto de ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres. Tais indicadores atingiram valores normalizados próximos a 1. Os indicadores associados a questão ambiental são de suma importância para o equilíbrio do clima regional. Logo, os valores insatisfatórios do percentual de desmatamento e áreas protegidas

caracteriza uma área prioritária para melhorar a capacidade adaptativa municipal. Do mesmo modo os indicadores relacionados a políticas públicas, cujos municípios entre os 10 piores não apresentaram ações de adaptação a longo prazo.

Figura 19 - Gráfico com os valores normalizados dos indicadores, considerando os municípios inseridos em cada grau de falta de capacidade adaptativa.



Fonte: Do autor

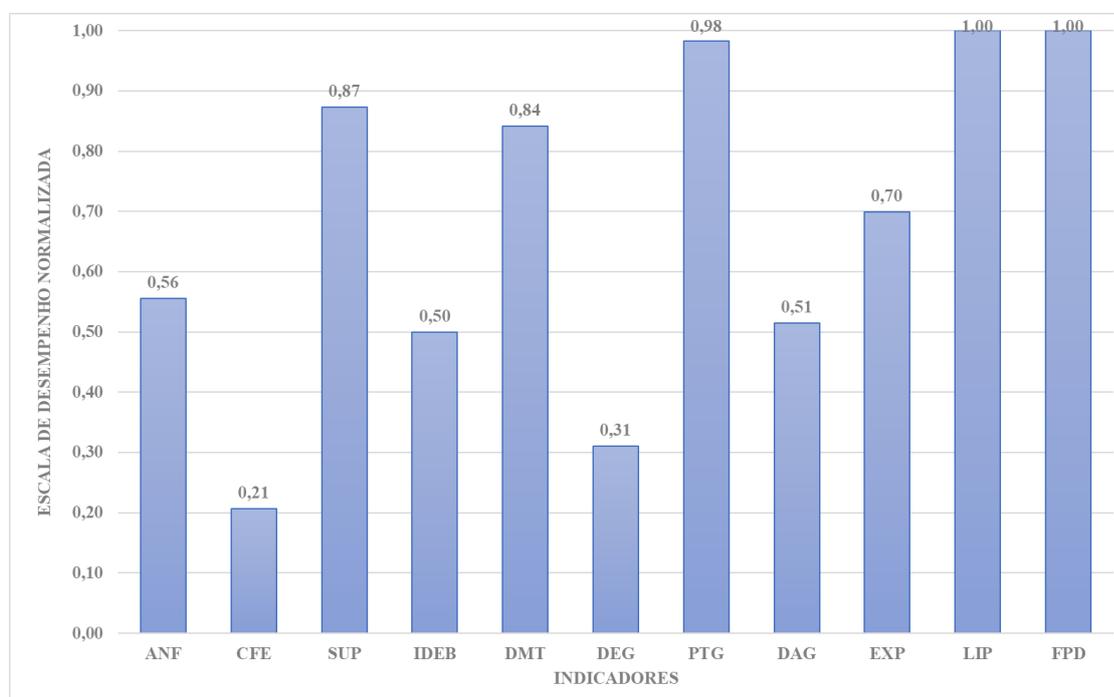
Mesmo em municípios categorizados com alta incapacidade adaptativa, os indicadores relativos ao percentual de crianças entre 6 e 14 anos de idade que estão fora da escola e o percentual de áreas degradadas foi baixo, com valores de 0,21 e 0,31, respectivamente.

De modo geral, os indicadores associados a questões políticas foram determinantes para que parte dos municípios do Nordeste e Sudeste do Pará fossem classificados com falta de capacidade adaptativa. Esse resultado é alarmante, uma vez que a redução da vulnerabilidade a longo prazo de uma população, obrigatoriamente necessita de políticas públicas eficientes, capazes de minimizar os impactos de ameaças naturais, como os extremos climáticos, normalmente acompanhados de deslizamentos de terra, enchentes, alagamentos etc.

Tabela 10 - 10 municípios paraenses com maior falta de capacidade adaptativa.

| Município | Mesorregião | Falta de Capacidade de Adaptativa |
|--------------------------|--------------------|--|
| Garrafão do Norte | Nordeste | 0,719 |
| Aurora do Pará | Nordeste | 0,713 |
| Brejo Grande do Araguaia | Sudeste | 0,686 |
| Bonito | Nordeste | 0,683 |
| Pau D'Arco | Sudeste | 0,678 |
| Concórdia do Pará | Nordeste | 0,678 |
| Cachoeira do Piriá | Nordeste | 0,673 |
| São Domingos do Araguaia | Sudeste | 0,673 |
| Igarapé-Açu | Nordeste | 0,660 |
| Jacundá | Sudeste | 0,656 |

Figura 20 - Valores médios dos indicadores do eixo temático capacidade de adaptativa para os 10 municípios com pior desempenho.



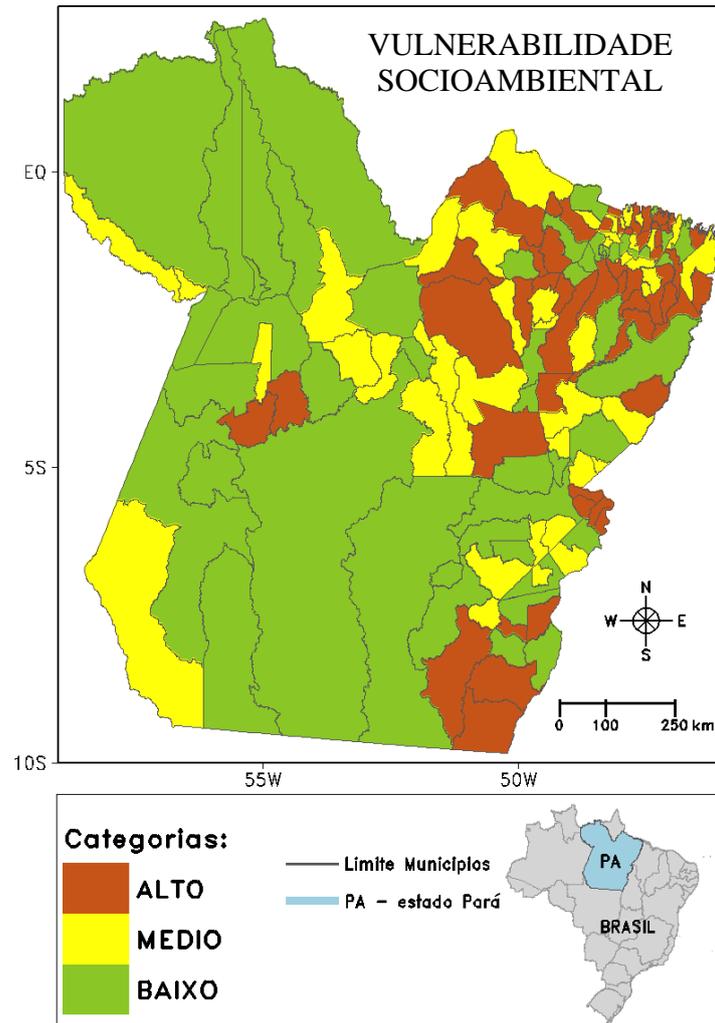
Fonte: Do autor

4.2.1.4 Vulnerabilidade socioambiental

A combinação dos indicadores de suscetibilidade, capacidade de resposta e capacidade adaptativa resulta no diagnóstico integrado da vulnerabilidade dos municípios do Pará, cujo grau é mostrado na análise espacial da Figura 21. Na porção oeste do estado, apenas Rurópolis e Placas apresentaram alto grau de vulnerabilidade. Outros municípios como Faro, Terra Santa, Jacareacanga, Belterra, Medicilândia, Brasil Novo, Senador José Porfírio e Anapu. Os demais da porção oeste foram classificados com baixo grau de vulnerabilidade.

Os destaques da Figura 21 estão localizados na porção leste, onde observa-se uma maior quantidade de municípios categorizados com grau médio e alto de vulnerabilidade. Na mesorregião Sudeste podem ser observados os municípios de Cumaru do Norte, Santana do Araguaia, Santa Maria das Barreiras, Floresta do Araguaia, Pau D'Arco, Palestina do Pará, Brejo Grande do Araguaia, São Domingos do Araguaia e São João do Araguaia em condição de alta vulnerabilidade. Contudo, é nas mesorregiões do Marajó e Nordeste do Pará que se concentra a maior quantidade de municípios mais vulneráveis a ameaças naturais e eventos climáticos extremos, como por exemplo: Anajás, Afuá, Muaná, São Sebastião da Boa Vista, Melgaço, Portel, entre outros no Marajó, além de São João de Pirabas, Marapanim, Maracanã, Peixe-Boi, Colares, entre outros no Nordeste do Pará.

Figura 21 - Grau de vulnerabilidade nos municípios do estado do Pará.



Fonte: Do autor

A Tabela 11 mostra os municípios do Pará definidos como o maior grau de vulnerabilidade. Entre os 10 principais, 7 estão localizados na mesorregião Nordeste, 2 na ilha de Marajó e um no Sudeste. A magnitude da vulnerabilidade atinge 0,640 na escala normalizada para o município de Nova Esperança do Piriá, acompanhado logo em seguida por Cumaru do Norte e por Garrafão do Norte. Os dois primeiros municípios também correspondem as duas primeiras colocações quanto a capacidade de resposta. Os municípios de Afuá e Melgaço, por sua vez, foram classificados nas duas primeiras posições quando a suscetibilidade. Em termos da capacidade de resposta, Garrafão do Norte, Concórdia do Pará e Bonito também apresentaram

valores elevados. Tais características contribuíram para que os municípios citados acima tenham sido classificados entre os 10 mais vulneráveis do Pará.

Vale destacar que os valores normalizados de vulnerabilidade são demasiadamente altos quando comparados com os de Belém, Parauapebas e Santarém, cujos valores municipais do índice de vulnerabilidade são, 0,234, 0,246 e 0,291, respectivamente. Logo, os municípios ranqueados entre os 10 mais vulneráveis representam aqueles com os quais deve-se empregar maior atenção quando aos impactos de ameaças naturais, que potencialmente podem provocar danos à população.

Tabela 11 - 10 municípios paraenses com maior grau de vulnerabilidade.

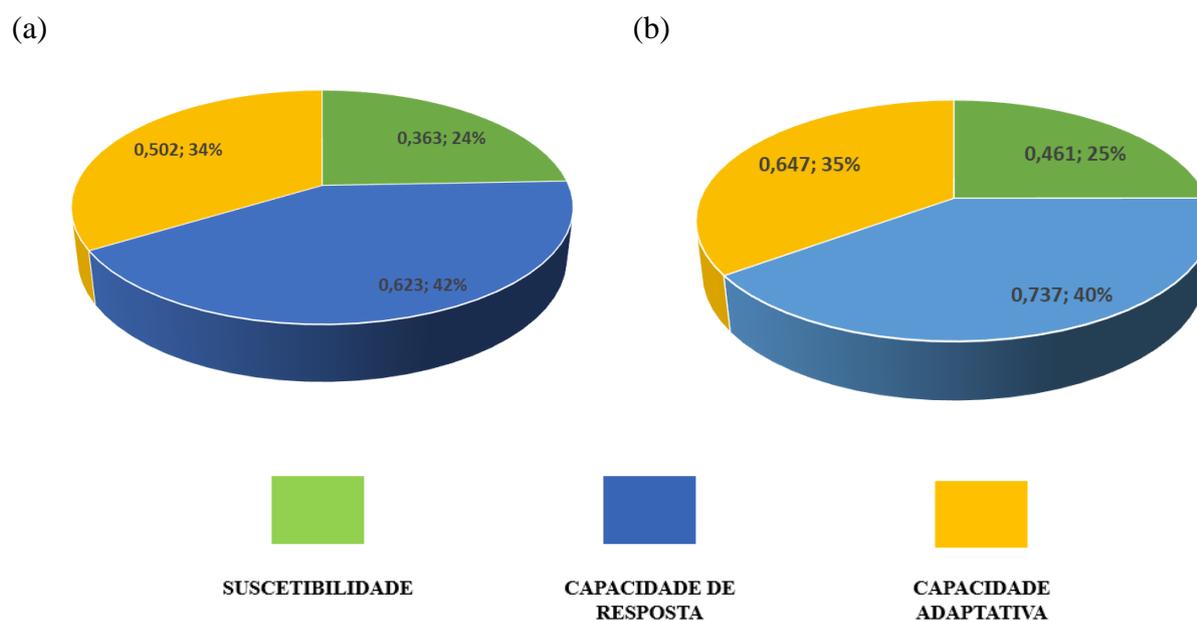
| Município | Mesorregião | Vulnerabilidade | Suscetibilidade | Resposta | Adaptação |
|-------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| Nova Esperança do Piriá | Nordeste | 0,640 | 0,430 | 0,872 | 0,624 |
| Cumarú do Norte | Sudeste | 0,638 | 0,470 | 0,800 | 0,649 |
| Garrafão do Norte | Nordeste | 0,636 | 0,484 | 0,712 | 0,719 |
| Afuá | Marajó | 0,629 | 0,567 | 0,670 | 0,652 |
| Acará | Nordeste | 0,611 | 0,436 | 0,797 | 0,606 |
| Concórdia do Pará | Nordeste | 0,607 | 0,381 | 0,767 | 0,678 |
| Bonito | Nordeste | 0,602 | 0,427 | 0,701 | 0,683 |
| Melgaço | Marajó | 0,601 | 0,581 | 0,654 | 0,567 |
| Ipixuna do Pará | Nordeste | 0,591 | 0,404 | 0,728 | 0,646 |
| Peixe-Boi | Nordeste | 0,583 | 0,433 | 0,671 | 0,650 |

Fonte: Do autor

Outra maneira de evidenciar a contribuição de cada eixo temático na determinação do grau de vulnerabilidade municipal é ilustrada na Figura 22, que mostra valores normalizados médios dos indicadores para cada eixo temático. A Figura 22a apresenta o resultado considerando todos os municípios paraenses, onde é possível verificar que o eixo suscetibilidade apresenta média de 0,363 (24%) entre os 14 indicadores estudados. A capacidade adaptativa obteve média de 0,502 (34%), enquanto a capacidade de resposta alcançou o maior valor entre os eixos temáticos, atingindo 0,623 (42%) na escala normalizada.

A Figura 22b, apresenta graficamente resultados similares, porém para os 10 municípios com maior grau de vulnerabilidade. No gráfico de pizza é possível visualizar mais uma vez que a suscetibilidade e a capacidade adaptativa menor contribuição para determinação do grau de vulnerabilidade quando comparado a capacidade de resposta: 0,461 (25%) e 0,647 (35%), respectivamente, contra 0,737 (40%) da capacidade de resposta. Logo, o resultado induz que a dimensão suscetibilidade não demonstrar uma predisposição tão elevada dos municípios paraenses a serem impactados por uma ameaça natural quando comparadas com as outras dimensões. Além disso, a concretização de um evento natural extremo potencialmente implicará em um desequilíbrio municipal, especialmente devido a incapacidade de soluções imediatas para salvaguardar a população, explicitadas pelo mau desempenho dos indicadores relativos a capacidade de resposta.

Figura 22 - Valores médios dos indicadores de cada eixo temático para (a) os todos os municípios paraenses e (b) os 10 com maior grau de vulnerabilidade.



Fonte: Do autor

4.2.2 Análise de risco diante dos extremos climáticos

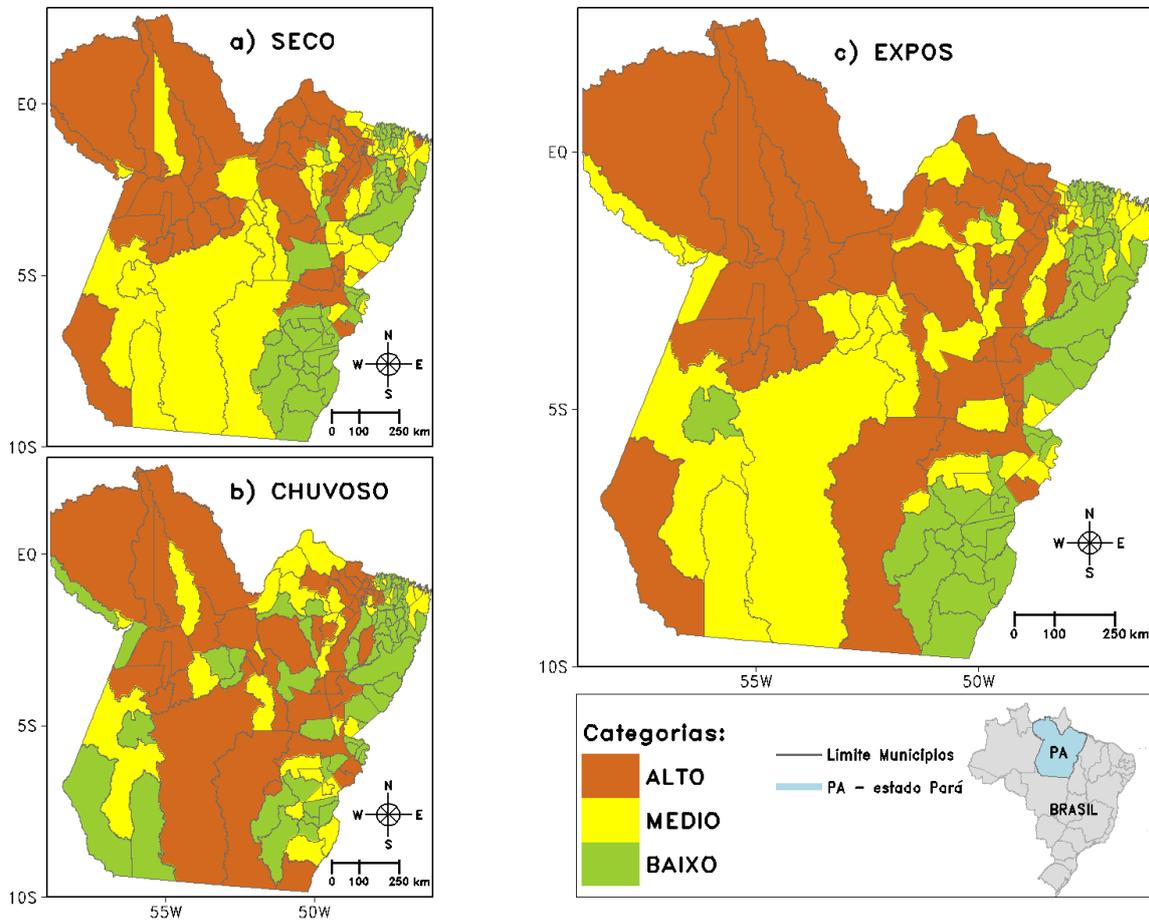
Para a determinação do grau de risco socioambiental e climático dos municípios, se faz necessária uma avaliação prévia do grau de exposição diante de uma ameaça natural. No caso do presente estudo, foi abordada a frequência de extremos climáticos secos (EXTSEC) e chuvosos (EXTCHU) que, diferentemente da seção 4.1, será tratada nesta seção com base em 3 diferentes fontes, os dados interpolados de estações meteorológicas do CPC, e dos dados mesclados de informações de satélite com estações meteorológicas, MERGE e CHIRPS, a fim de proporcionar maior confiabilidade e robustez aos resultados acerca da ocorrência de extremos climáticos nos municípios paraenses. Para tal, a média da frequência de extremos climáticos baseada no método do SPI foi aplicada nas três bases de dados.

Assim sendo, a Figura 23 mostra o resultado do cálculo dos EXTSEC (Figura 23a), EXTCHU (Figura 23b) e da combinação de ambos (Figura 23c). Em relação aos EXTSEC, um padrão espacial bem distinto é perceptível na Figura 23a, onde os municípios do leste do estado foram definidos com baixa frequência de extremos, como Belém, parte da região do Salgado, como Curuçá, Marapanim e Salinópolis, além de grande parte dos municípios na divisa do Pará, como Paragominas, Ulianópolis, Xinguara e Conceição do Araguaia, por exemplo. A porção central do Pará, parte dos municípios situados no leste/nordeste e uma minoria na porção oeste apresentaram grau médio quanto a frequência de EXTSEC. Por outro lado, a maior parte dos municípios com alta frequência de EXTSEC encontram-se nas mesorregiões do Baixo Amazonas e Marajó, além de alguns localizados no Sudoeste (Jacareacanga), Sudeste (Sapucaia, Marabá e Itupiranga) e Nordeste (Moju, Acará e Augusto Corrêa).

A Figura 23b mostra a frequência de EXTCHU nos municípios paraenses. De modo distinto em relação aos EXTSEC, a distribuição espacial do grau da frequência de EXTCHU não apresenta uma homogeneidade de regiões com classes semelhantes. Municípios com baixa frequência são observados em todas as mesorregiões paraenses, em especial no Nordeste e Sudeste. Similarmente, os municípios com grau médio são encontrados por todo o estado, por exemplo: Itaituba (Sudoeste), Chaves (Marajó), Conceição do Araguaia (Sudeste), Monte Alegre (Baixo Amazonas) e Viseu (Nordeste). Os municípios classificados com alta frequência de EXTCHU são observados, principalmente na região do Baixo Amazonas, Marajó e porção central do estado. Destacam-se Altamira, São Félix do Xingu, Oriximiná, Óbidos, Alenquer, Almeirim, Soure, Salvaterra e Ponta de Pedras.

A combinação de ambos os extremos, EXTSEC e EXTCHU, é ilustrada na Figura 23c. Os municípios com baixa frequência de extremos climáticos estão situados em sua maior parte no leste do Pará, como Água Azul do Norte, Xinguara, Redenção, Paragominas, Dom Eliseu, alguns na região do Salgado, como por exemplo Marapanim, Curuçá e Magalhães Barata, além de um município na ilha de Marajó (São Sebastião da Boa Vista) e um município no sudoeste paraense (Trairão). Em posição intermediária quanto a frequência de extremos climáticos, põem ser mencionados, Altamira, Itaituba, Novo Progresso, Faro, Afuá, Pacajá, Bragança, entre outros ao longo do estado. Os municípios com maior frequência, tanto de EXTSEC, quanto de EXTCHU estão localizados em sua maioria no Baixo Amazonas e ilha de Marajó, como destacado pelas cores em marrom na Figura 20c. Em grande parte dos casos, há municípios que receberam alta frequência de ambos os extremos climáticos, como Oriximiná, Óbidos, Almeirim, Salvaterra, Cachoeira do Arari, Santarém, Aveiro, Marabá, São Félix do Xingu, Moju, Portel, entre outros. Para estes casos, a exposição a uma ameaça natural foi elevada durante o período estudado. Diante dessa condição e do diagnóstico do grau de vulnerabilidade abordado na seção anterior, será apresentado na Figura 24 o mapeamento do grau de risco nos municípios do Pará.

Figura 23 - Mapa de (a) EXTSEC, (b) EXTCHU e (c) ambos combinados para os municípios do estado do Pará.



Fonte: Do autor

A Figura 24a reitera o diagnóstico do grau de exposição, no caso do presente estudo, a frequência de EXTSEC e EXTCHU, previamente discutidos no parágrafo anterior. Do mesmo modo, a Figura 24b mostra novamente o resultado da análise espacial do grau de vulnerabilidade socioambiental para os municípios paraenses. O produto da interação entre a exposição e a vulnerabilidade resulta no risco socioambiental e climático (Figura 24c).

É interessante notar que há uma distribuição espacial praticamente oposta na distribuição dos graus de exposição e V_{SA} . No primeiro caso, os municípios com menor grau de exposição encontram-se no leste do estado, enquanto os municípios com maior grau se distribuem no centro-oeste paraense. Por outro lado, ao analisar o padrão espacial do grau de V_{SA} , quase a totalidade dos municípios do centro oeste do estado foram classificados com grau

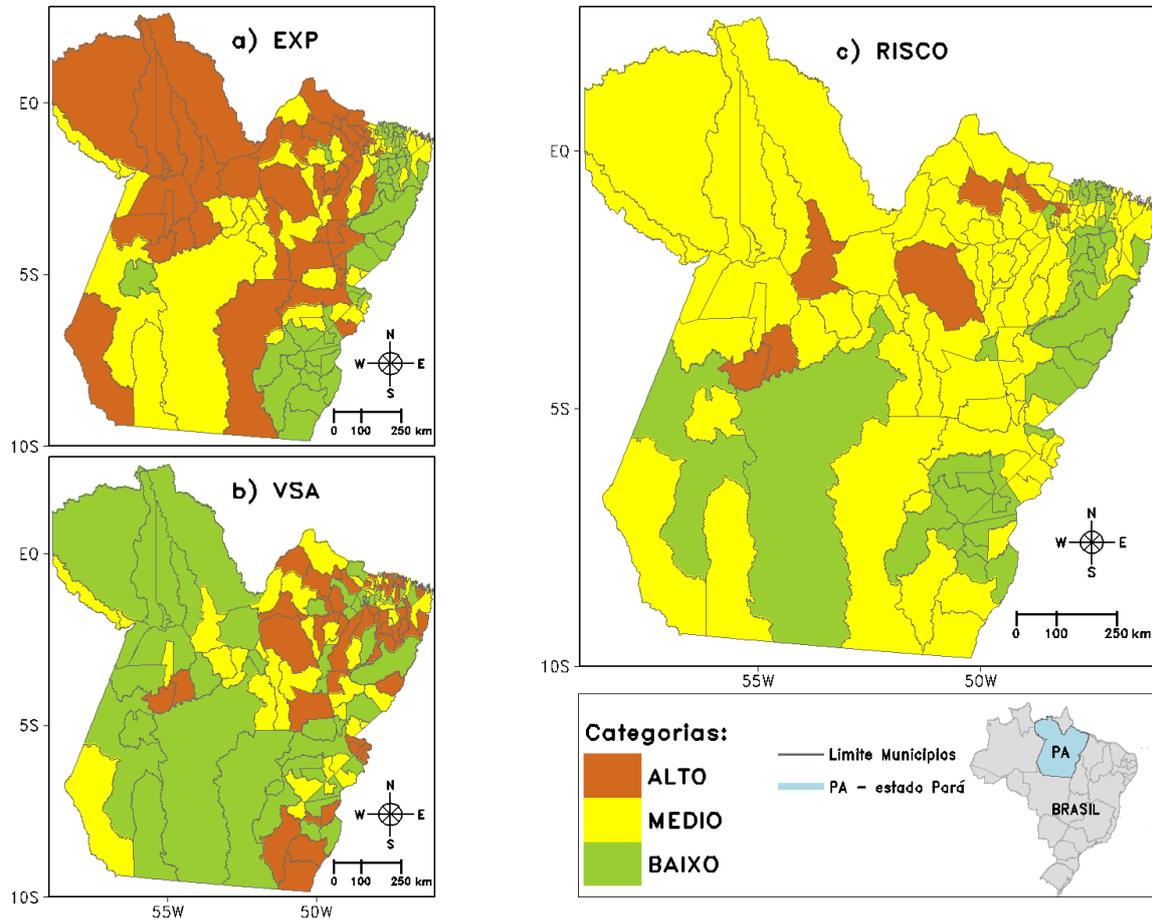
baixo, enquanto o leste do Pará apresentou municípios com alto grau de V_{SA} desde a porção sudeste até a nordeste.

Analisando a Figura 24c, observa-se que na categoria de grau baixo estão inseridos 42 municípios, correspondente a 29,4% do total. Entre eles estão: Altamira, Itaituba, Ourilândia do Norte, Parauapebas, Canaã dos Carajás, São João do Araguaia, Paragominas, Belém, Salinópolis, Tucuruí etc. A maior quantidade de municípios foi classificada com grau médio de risco, cerca de 64%, equivalente a 92 municípios. Em todas as mesorregiões podem ser observados municípios nesta categoria, sendo que alguns deles apresentaram alto grau de risco, porém baixo grau de vulnerabilidade, como Óbidos e Alenquer. Em contrapartida, outros demonstraram comportamento inverso: baixo grau de risco e alto grau de vulnerabilidade, como Ulianópolis e Santana do Araguaia.

Apenas 9 (6,3%) municípios foram classificados com alto grau de risco socioambiental e climático: 4 no Marajó (Anajás, Portel, Santa Cruz do Arari e Cachoeira do Arari), 2 no Nordeste (Santa Bárbara do Pará e Santo Antônio do Tauá), 1 no baixo Amazonas (Prainha) e 2 no Sudoeste (Rurópolis e Placas). Em todos os casos, tanto em termos de exposição, quanto em relação a vulnerabilidade, foi observado o grau alto para os municípios na pior classificação de risco. Nenhum município da parte sul do estado foi categorizado com grau de risco alto. Grande parte dos quais atingiu o baixo grau, indicando uma associação de bons desempenhos nos indicadores socioambientais, bem como uma baixa frequência de extremos climáticos.

A Tabela 12 lista os 10 municípios com maior grau de risco socioambiental e climático. Na ordem, Placas, Santo Antônio do Tauá e Cachoeira do Arari preenchem as três primeiras posições. Um fator em comum pode ser observado em tais municípios, o alto grau de exposição aos extremos climáticos. Outros municípios listados entre os 10 com alto grau de risco também apresentaram valores elevados quanto a exposição, como Santa Cruz do Arari, Santa Bárbara do Pará e Prainha. Ainda na Tabela 12, a coluna relativa aos valores de vulnerabilidade socioambiental mostra que os 10 municípios com maior risco a ocorrência de extremos climáticos, não corresponderam aos 10 maiores valores de vulnerabilidade. Essa característica pode ser percebida nas outras dimensões avaliadas (Suscetibilidade, Capacidade de Resposta e Capacidade Adaptativa), cuja maioria dos valores normalizados também não está inserido entre aqueles mais próximos a 1. Assim, os resultados evidenciados na Tabela 12 dá sinais claros de que o fator exposição foi primordial para a determinação dos municípios com maior grau de risco socioambiental e climático.

Figura 24 - Grau de Risco Socioambiental e Climático no estado do Pará.



Fonte: Do autor

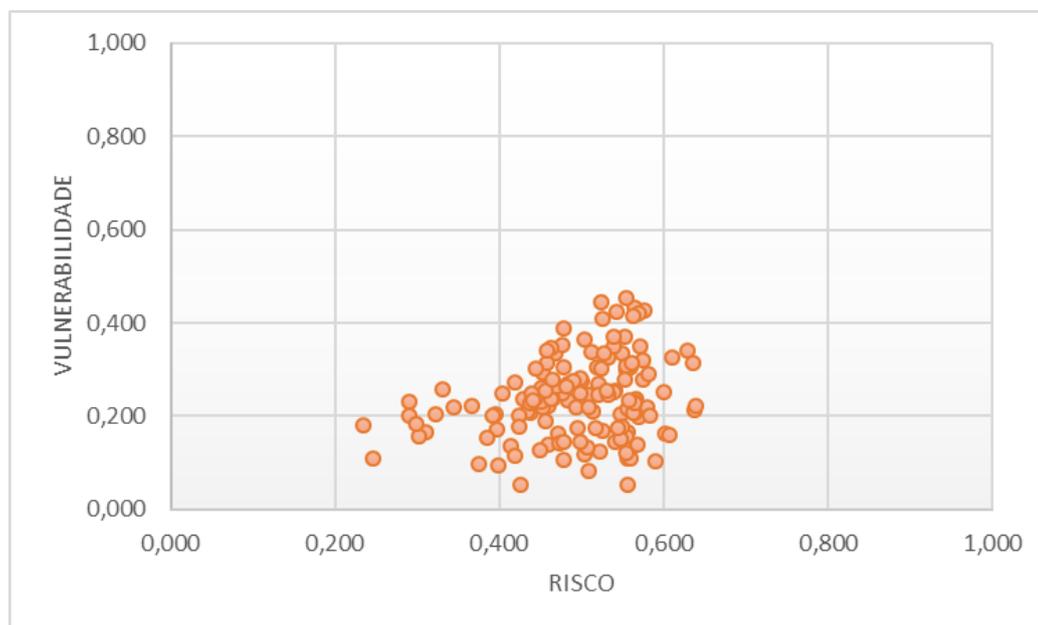
Tabela 12 - 10 municípios do Pará classificados com maior grau de risco. Destaque em negrito para os valores entre os 10 maiores em cada dimensão avaliada.

| Município | Risco | Exposição | Vulnerabilidade Socioambiental | Suscetibilidade | Capacidade de Resposta | Capacidade Adaptativa |
|-----------------------|-------|--------------|--------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| Placas | 0,454 | 0,818 | 0,555 | 0,426 | 0,671 | 0,572 |
| Santo Antônio do Tauá | 0,444 | 0,846 | 0,525 | 0,301 | 0,680 | 0,600 |
| Cachoeira do Arari | 0,432 | 0,765 | 0,565 | 0,396 | 0,765 | 0,539 |
| Anajás | 0,426 | 0,737 | 0,577 | 0,543 | 0,681 | 0,509 |
| Santa Cruz do Arari | 0,425 | 0,783 | 0,542 | 0,345 | 0,755 | 0,532 |
| Portel | 0,422 | 0,741 | 0,570 | 0,460 | 0,751 | 0,502 |
| Rurópolis | 0,414 | 0,737 | 0,563 | 0,439 | 0,790 | 0,462 |
| Santa Bárbara do Pará | 0,408 | 0,776 | 0,526 | 0,350 | 0,676 | 0,558 |
| Prainha | 0,389 | 0,815 | 0,478 | 0,537 | 0,529 | 0,365 |
| Moju | 0,371 | 0,672 | 0,552 | 0,367 | 0,663 | 0,632 |

Fonte: Do autor

Para demonstrar a relevância dos temas estudados e a fim de investigar a relação entre os temas estudados, a Figura 25 mostra o gráfico de dispersão entre os valores normalizados de risco e de vulnerabilidade, considerando todos os municípios do Pará. Neste gráfico, observa-se que os pontos estão concentrados em uma área, porém sem uma direção predominante. Apesar da aparente aleatoriedade, nota-se que a relação entre ambos os eixos é de uma correlação positiva, ou seja, à medida que um aumenta a magnitude, o outro segue o mesmo comportamento. Logo é possível extrair que a vulnerabilidade e o risco estão conectados e que, predominantemente, o aumento da vulnerabilidade resulta em um risco maior.

Figura 25 - Gráfico de dispersão dos valores normalizados de Risco e Vulnerabilidade.

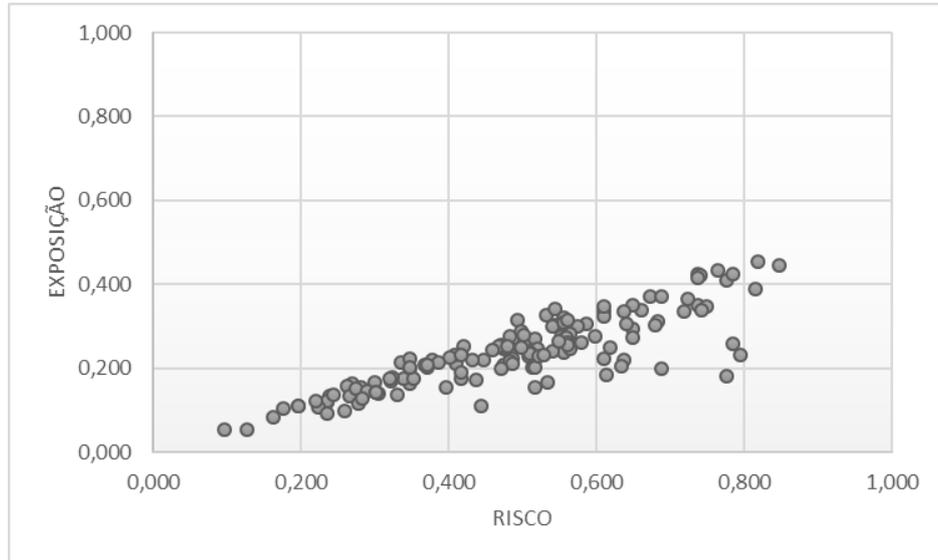


Fonte: Do autor

Em contrapartida, ao observar a Figura 26, relativa ao diagrama de dispersão entre o risco e a exposição, a distribuição dos pontos se concentra perto de uma linha reta, isto é, há uma clara correlação linear positiva entre o eixo exposição e o eixo risco, indicando que o aumento de um também implica no aumento de outro. Em outras palavras, quanto maior a exposição a uma ameaça natural, maior será o risco associado.

Deste modo, as Figuras 25 e 26 demonstraram que o risco é função da vulnerabilidade e da exposição, sendo este último com uma relação maior e linearmente direta, o que corrobora com os resultados da Tabela 12, que salienta os maiores valores normalizados de exposição nos municípios classificados com maior grau de risco. Em termos práticos, independentemente da condição de uma determinada população, seja em termos de suscetibilidade, capacidade de resposta e capacidade adaptativa, a materialização de uma ameaça é um fator primordial para a determinação do grau de risco de uma área ou população.

Figura 26 - Gráfico de dispersão dos valores normalizados de Risco e Exposição.



Fonte: Do autor

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5.1 Discussão

Inicialmente destaca-se que, diferentemente de estudos similares, os resultados encontrados nesta tese de doutorado representam valores normalizados para os 143 municípios do estado do Pará, ou seja, considera-se uma amostra com $n = 143$, significando resultados de uma análise intramunicipal ao longo do Pará. Dessa maneira, o diagnóstico dos graus de vulnerabilidade e risco podem ser diferentes daqueles encontrados em De Almeida, Welle e Birkmann (2016) e Torres *et al.* (2012), por exemplo, que realizaram pesquisas semelhantes, porém considerando as análises para todo o Brasil. Além disso, o presente estudo buscou uma aproximação do diagnóstico do risco socioambiental e climático, não entrando em detalhes acerca da sua complexidade, como a magnitude, frequência e outras características de origem antrópica, que podem alterar o impacto de uma ameaça natural.

Sob a ótica dos extremos climáticos, tratados como a dimensão exposição na análise de risco, a maioria dos estudos (DE SOUZA; KAYANO; AMBRIZZI, 2004; MORAES *et al.*, 2005; SANTOS; MELO; BRITO, 2016; SILVA FERREIRA *et al.*, 2015) avaliam a precipitação usando informações de estações meteorológicas ou dados interpolados em pontos de grade. Esse tipo de análise não considera as divisões municipais, de modo que, não indicam nem a quantidade de precipitação, nem a frequência de extremos climáticos na escala municipal. Assim sendo, o presente estudo contribuiu com esse conhecimento, gerando dados municipais de precipitação com base em quatro diferentes fontes (estações e satélites). Tais informações podem ser extremamente relevantes para órgãos estaduais e municipais responsáveis por tomadas de decisões de âmbito socioambiental.

A análise dos mecanismos climáticos associados aos extremos climáticos secos e chuvosos no Pará demonstraram, assim como nos estudos prévios usando dados interpolados por De Souza, Kayano e Ambrizzi (2004) e Silva Ferreira *et al.* (2015) e nos estudos com estações meteorológicas de Moraes *et al.* (2005) e Santos, Melo e Brito (2014), que a variabilidade pluviométrica nos municípios paraenses está diretamente associada a manifestação simultânea ou alternada do fenômeno El Niño Oscilação Sul no Oceano Pacífico equatorial, com as fases do

gradientes inter-hemisférico de anomalias de TSM, que alteram significativamente os padrões de circulação zonal e meridional em todo o Brasil.

Quanto a análise de vulnerabilidade e risco, os resultados aqui alcançados demonstraram um avanço no conhecimento sobre tais assuntos em uma escala municipal para o estado do Pará, que está localizado em uma região de destaque internacional, a Amazônia. A maioria das publicações aborda uma visão macro, com foco no mundo (WELLE *et al.*, 2013), em países como o Brasil (DE ALMEIDA; WELLE; BIRKMANN, 2016; TORRES *et al.*, 2012) ou em estados (MENEZES *et al.*, 2016). Quando os estudos abordam uma análise municipal, como em Valverde (2017), as análises são restritas para um pequeno conjunto de municípios. Logo, em um plano espacial, foi tratado nesta tese uma região com vasta extensão territorial, representada pelos 143 municípios do estado do Pará. Vale ressaltar que o ganho de informação gerada é significativo quando comparado com outros estudos que focam comunidades, que também são importantes, mas impactam menor quantidade de pessoas.

Em um paralelo entre os mapas municipais de vulnerabilidade e risco encontrados neste estudo, com os mapas revelados por De Almeida, Welle e Birkmann (2016) e Torres *et al.*, (2012), são observadas diferenças entre as definições de grau. Como mencionado no início desta seção, isto se deve ao processo de normalização, que nos casos de De Almeida, Welle e Birkmann (2016) e Torres *et al.* (2012) consideraram os 5565 municípios do Brasil. Por esse motivo, os estudos focados para a escala nacional mapearam as Regiões Norte e Nordeste do Brasil com grau alto ou muito alto na análise de vulnerabilidade e risco para a maioria dos municípios. Como, no presente estudo foram considerados os 143 municípios paraenses para a normalização, o espaço amostral é menor, o que consequentemente possibilitou o detalhamento apenas entre os municípios do Pará.

Entre os 143 municípios do estado do Pará, 9 foram classificados com alto grau de risco diante da frequência de extremos climáticos, os quais juntos correspondem a uma população de, cerca de 242 mil pessoas segundo o último Censo de 2010. Proporcionalmente, corresponde a um pouco mais de 3% do total estadual, entretanto, em termos absolutos é um número elevado de pessoas potencialmente expostas ao impacto dos extremos climáticos e não pode ser desprezado.

Pesquisas anteriores apontaram que alguns municípios do Pará obtiveram os piores IDH do Brasil devido suas condições social, econômica e educacional, notadamente na mesorregião do Marajá (Melgaço, Chaves, Bagre, Afuá, Ipixuna do Pará, Cachoeira do Piriá, Portel e Anajás).

De fato, os três últimos foram categorizados neste trabalho com alto grau de risco climático/socioambiental, conforme a Figura 21. Particularmente o município de Anajás também apresentou alto grau de suscetibilidade.

Contudo, o que chamou a atenção na definição do grau de risco foi a maior contribuição da falta de capacidade de resposta na análise de vulnerabilidade dos municípios paraenses em face aos extremos climáticos (Figura 19). O comportamento da maioria dos indicadores dessa dimensão mostrou-se insuficiente para atender as demandas da sociedade. Ainda que o fator comunicação não tenha representado um problema, a falta de preparação para desastres e a inexistência de alertas prévios nos municípios paraenses demonstrou que eles são incapazes de lidar com situações emergenciais, como desastres naturais. Portanto, a ausência de políticas públicas para respostas imediatas de apoio à população em eventos catastróficos foi detectada com um fator problemático nos municípios paraenses. Do mesmo modo que a capacidade adaptativa também foi responsável pelo aumento do grau de vulnerabilidade, uma vez que os municípios não demonstram preparação para lidar com os efeitos de longo prazo de ameaças naturais.

Assim como encontrado por De Almeida, Welle e Birkmann (2016), o fator exposição, representada pela frequência de extremos climáticos secos e chuvosos, foi determinante para a classificação dos municípios com alto grau de risco. Em termos práticos, isso significa que a ameaça natural de magnitude elevada tem alto potencial de gerar impactos em uma população.

5.2 Conclusão

A realização do estudo sobre a determinação do grau de risco nos municípios paraenses com base na exposição a uma ameaça natural e na vulnerabilidade socioambiental representou o empenho e o interesse em relacionar variáveis de naturezas diferentes com o propósito de fornecer dados relevantes, tanto para a comunidade científica, quanto para a população do estado do Pará e órgãos competentes.

O fator exposição relacionado a uma ameaça natural foi tratado em termos da precipitação, mais precisamente da frequência dos extremos climáticos secos e chuvosos, que fazem parte da variabilidade pluviométrica regional. Para uma análise em escala municipal, foram gerados dados mensais de precipitação considerando os domínios geográficos de cada

município, com base em quatro diferentes fontes. Tais informações municipais são inovadoras, além de dar validade e robustez as informações acerca de frequência de extremos climáticos.

Os resultados sobre a variabilidade pluviométrica nos municípios paraenses e análise da frequência de extremos climáticos mostrou que os municípios são impactados mais frequentemente por eventos chuvosos em comparação com os eventos secos. Os municípios do leste do estado apresentaram baixo grau de frequência de EXTCLI, enquanto os municípios da porção oeste registraram mais municípios com alto grau da frequência de EXTCLI. As maiores frequências de extremos foram observadas nos municípios localizados em sua maioria nas mesorregiões do Baixo Amazonas e Marajó, a saber: Oriximiná, Óbidos, Almeirim, Salvaterra, Cachoeira do Arari, Santarém, Aveiro, Marabá, São Félix do Xingu, Moju, Portel entre outros.

De acordo com o conhecimento científico (ADAMS; SOUZA; COSTA, 2009), sabe-se que a porção mais ocidental da Amazônia, que engloba a parte mais oeste do Pará apresenta maior atividade convectiva, dada a conservação da vegetação, os altos índices de evapotranspiração, além da atuação de mecanismos atmosféricos de grande e mesoescala. Logo, os resultados obtidos estão em concordância com a literatura especializada.

Quanto a definição do grau de vulnerabilidade municipal para o estado do Pará, foram agregados uma série de indicadores sociais, econômicos, educacionais, políticos e ambientais organizados nas dimensões suscetibilidade, capacidade de resposta e capacidade adaptativa.

Os indicadores de suscetibilidade: renda per capita, percentual de vulneráveis a pobreza e percentual de municípios com acesso a esgotamento sanitário apresentaram pior desempenho, e os municípios da mesorregião do Marajó foram classificados com os mais suscetíveis a uma ameaça natural.

Os indicadores políticos relacionados a capacidade de resposta demonstraram um desempenho insatisfatório, principalmente pela ausência de medidas estruturais para reduzir desastres, pelo fato de a população vulnerável a desastres não estar cadastrada em programas habitacionais do governo e pela falta de estrutura local para resposta a desastres naturais nos municípios do nordeste e sudeste do estado.

Finalmente, no que diz respeito a capacidade adaptativa, os indicadores de legislação e instrumentos de planejamento, ferramentas de planejamento específico para a prevenção de desastres e percentual de áreas protegidas foram determinantes para a que os municípios do leste paraense, como Garrafão do Norte, Aurora do Pará, grande parte daqueles localizados próximos a região do Araguaia e outros do nordeste paraense fossem classificados com uma incapacidade

adaptativa diante de ameaças externas. A escassez de áreas protegidas no leste do Pará contribui significativamente para uma falta de adaptação dos municípios, uma vez que isso favorece a mudança do uso e cobertura do solo em uma região que já é conhecida como o “arco do desmatamento” (FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIDA, 2005). A longo prazo, essa condição poderá alterar a variabilidade pluviométrica regional, potencializando o aumento da frequência de extremos climáticos.

A combinação das três dimensões resultou na determinação do grau de V_{SA} para os municípios paraenses. Aqueles com maior grau de V_{SA} se concentram nas mesorregiões Nordeste e Sudeste do estado, conduzidos principalmente por uma falta de capacidade de resposta e ineficácia dos modelos de gestão de desastres naturais, tanto em escala estadual, quanto em municipal. Os municípios de Nova Esperança do Piriá, Cumaru do Norte e Garrafão do Norte demonstraram-se como os mais vulneráveis do estado.

O conhecimento fator exposição, dado pela frequência de EXTCLI, e de V_{SA} , dado pela combinação de três dimensões que caracterizam a vulnerabilidade apontou que 9 municípios foram categorizados com alto grau de RISC, a maioria deles localizado na ilha de Marajó, onde encontram-se municípios classificados como alguns dos mais pobres do Brasil, segundo o IDH. Portanto, a associação de alto grau de vulnerabilidade com o diagnóstico de elevada frequência de EXTCLI, ratificou parte dos municípios de mesorregião de Marajó, Sudoeste, Nordeste e um no Baixo Amazonas como aqueles com maior grau de RISC durante o clima atual.

5.3 Contribuições e implicações para as ciências ambientais da Amazônia

As ciências ambientais podem ser definidas como o estudo dos efeitos de processos naturais ou antrópicos, das interações dos componentes físicos do planeta no meio ambiente. Como um campo acadêmico interdisciplinar e multidisciplinar, as ciências ambientais integram as ciências físicas, biológicas e sociais para o estudo do ambiente e soluções para problemas ambientais mais complexos.

No contexto da Amazônia, o estudo das ciências ambientais é de extrema relevância, dada a presença do bioma Amazônico, caracterizado por abrigar a maior floresta tropical úmida do mundo, com cerca de 40 bilhões de árvores, as quais são distribuídas em aproximadamente 16

mil espécies (TER STEEGE *et al.*, 2013), possuir inúmeras espécies de animais e uma rica hidrografia com a maior bacia do mundo, a bacia amazônica.

O estado do Pará está localizado no leste da Amazônia, em uma região onde há um crescimento econômico e populacional diferenciado em relação aos outros estados da Região Norte do Brasil. Setores da economia como a mineração, a agricultura a pecuária, além de diversas indústrias instaladas no nordeste paraense dão ao estado do Pará um status de destaque. Por esse e outros motivos, conhecer a dinâmica climática que modula a variabilidade pluviométrica e a frequência de extremos climáticos que impactam os municípios paraenses, representa um avanço no conhecimento específico em meteorologia para o estado, em razão do grau de detalhamento dos dados gerados.

Além disso, avaliação do grau de vulnerabilidade por meio de 34 indicadores socioeconômicos e ambientais para cada um dos 143 municípios realça o ineditismo dos resultados, que explicitaram as áreas prioritárias de atenção/investimento por parte dos governos estaduais e municipais. O conhecimento científico revelado pela análise combinada dos indicadores multitemáticos determinou os indicadores com melhor e pior desempenho em cada município paraense, o que pode ser usado por tomadores de decisões, a fim de minimizar a condição de vulnerabilidade municipal.

Por fim, a análise de risco socioambiental e climático resultante da integração de variáveis de naturezas distintas também representa uma percepção atual da condição municipal diante de uma ameaça natural, neste caso, os extremos climáticos, alvo de preocupação tanto por parte dos cientistas de áreas socioeconômicas, quanto de pesquisadores interessados nos impactos das mudanças do clima, principalmente na Amazônia, que é um patrimônio não somente regional, mas de todo o planeta.

5.4 Prioridades para pesquisas futuras

Para uma avaliação da vulnerabilidade, que possui caráter estritamente interdisciplinar, são necessários indicadores de diversas naturezas. Deste modo, sugere-se que os próximos estudos abordem um número maior de informações, capazes de fornecer uma resposta cada vez mais precisa do grau de vulnerabilidade em um determinado local, que pode ser desde de uma

microrregião, de um município, de um distrito ou de uma comunidade, detalhando ao máximo as camadas mais vulneráveis da sociedade.

Em relação aos extremos climáticos, a inclusão de outras variáveis como a taxa de aumento da temperatura, número do foco de queimadas, indicadores de convecção profunda como a radiação de onda longa, entre outros podem contribuir como parâmetros indicativos para a maior frequência de extremos climáticos durante o período atual. Além disso, técnicas de modelagem numérica regional permitem o conhecimento de variáveis meteorológicas para o clima futuro, possibilitando avaliar a tendência dos extremos climáticos. Assim, será possível calcular objetivamente, tanto a vulnerabilidade, quanto o risco associado aos extremos climáticos futuros para a Amazônia, onde os cenários de mudança do clima evidenciam o aumento da intensidade dos fenômenos atmosféricos durante o século XXI (IPCC, 2013).

REFERÊNCIAS

ADAMS, D. K.; SOUZA, E. P.; COSTA, A. A. Convecção úmida na Amazônia: implicações para modelagem numérica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [online], v.24, n.2, p.168-178, 2009.

ADGER, W. N. Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam. **World Development**, v.27, n.2, p.249-269, 1999.

ADGER, W. N.; KELLY, P. M. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.4, n.3, p.253-266, 1999.

ALMEIDA, L. Q.de; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.17, p.251-272, 2016.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL-ADHB. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Fundação João Pinheiro. **Dados em planilha**. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br>. Acesso em 21 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES-ANATEL. Acompanhamento do Plano de Melhoria do Serviço Móvel Pessoal (Telefonia Móvel Celular) SMP. **Dados dos indicadores de rede** – resultados consolidados por município e estado (UF). 2013. Disponível em: <http://sistemas.anatel.gov.br/sqp/qualidade/principal/consulta.asp>. Acesso em: jul. 2019.

AON Benfield. **Análises de clima e catástrofes**. Londres, Reino Unido, 2017. (Relatório Anual).

BARNES, S. L. **Mesoscale objective analysis using weighted time-series observations**. Norman, OK, National Severe Storms Laboratory, 1973. 60 p. (NOAA Tech. Memo. ERL NSSL62).

BARRA, C. M. C. M. Interdisciplinaridade: desafios para pesquisa e publicação. **Fisioterapia em Movimento**, Curitiba, v.26, n.4, p.711-712, dez. 2013.

BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L.; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. **Perspect**, São Paulo, v. 20, n.1, p. 81-95, jan.-mar. 2006.

BRUCE, J, LEE, H, HAITES, E. **Climate change 1995: economic and social dimensions of climate change**, IPCC Report. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BRUNSMA, D. L.; OVERFELT, D.; PICOU, J. S. **The sociology of Katrina: perspectives on a modern catastrophe**. 2nd ed. [S.l.]: Rowman and Littlefield Publishers, 2010. 390p.

BRÜSEKE, F. J. Risco social, risco ambiental, risco individual. **Ambiente & Sociedade**, Campinas: UNICAMP/NEPAM, v.1, n.1, p.117-133, 2. sem. 1997.

CAMPOS, T. L. O. B.; MOTA, M. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Revista Ambiente & Água**, v.10, p.182-194, 2015.

CAPOZZOLI, C. R.; CARDOSO, A. O.; FERRAZ, S. E. T. Padrões de Variabilidade de Vazão de Rios nas Principais Bacias Brasileiras e Associação com Índices Climáticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.32, n.2, p.243-254, 2017.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.

CASTRO, M.; PEIXOTO, M. N. O.; PIRES DO RIO, G. A. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro: UFRJ, v.28, n.2, p.11-30, 2005.

COELHO, C. A. S.; UVO, C. B.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theoretical and Applied Climatology**, v.71, p.185-197, 2002.

COUTINHO, E. C.; ROCHA, E. J. P.; LIMA, A. M. M.; RIBEIRO, H. M. C.; GUTIERREZ, L. A. C. L.; BARBOSA, A. J. S.; PAES, G. K. A. A.; BISPO, C. J. C.; TAVARES, P. A. Riscos socioeconômicos e ambientais em municípios banhados pelos afluentes do Rio Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.12, n.5, p.814-828, 2017.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v.93, n.1, p.59-70, 2011

DAGNINO, R. S.; CARPI JUNIOR, S. Risco Ambiental: Conceitos e Aplicações. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.2, n.2, p.50-87, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO-DENATRAN. **Estatísticas de frota de veículos**. 2013. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>. Acesso em: 03 jun. 2019.

DESCHAMPS, M. V. Vulnerabilidade socioambiental na região Metropolitana de Curitiba. 2004. **Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento)**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DIAMOND, J. **Guns, Germs and Steel - The fate of Human Societies**. New York and London, W. W. Norton & Company, 1999.

DUAN, Z.; LIU, J.; TUO, Y.; CHIOGNA, G.; DISSE, M. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. **Science of The Total Environment**, v.573, n.15, p.1536–1553, 2016.

DUBOIS-MAURY, J.; CHALINE, C. **Les risques urbains**. Paris, Armand Colin, Collection U Géographie. 208 p., 2002.

ESTEVEZ, C. J. O. **Risco e vulnerabilidade socioambiental: Aspectos Conceituais**. Caderno Ipardes. Estudos e Pesquisas, Curitiba, PR, n. 2, p.62-79, 2011.

FERREIRA, L. V., VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. S. O Desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.19, n.53, p.1-10, 2005.

FUNK, C., PETERSON, P., LANDSFELD, M., PEDREROS, D., VERDIN, J., SHUKLA, S., HUSAK, G., ROWLAND, J., HARRISON, L., HOELL, A., MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v.2, 2015.

GERMANO, A. O.; CASTILHO, A.; CANDIDO, M.; REIS, F. **Cheia de 2014 na bacia do rio Madeira**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XXI. Brasília, DF. ABRH, 2015.

GONÇALVES, K. S.; SIQUEIRA, A. S. P.; CASTRO, H. A.; HACON, S. S. Indicador de vulnerabilidade socioambiental na Amazônia Ocidental. O caso do município de Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.19, n.9, 2014.

GONÇALVES, N. M. S. **Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador**. In: Carlos Augusto Figueiredo Monteiro e Francisco Mendonça. (Org.). **Clima Urbano**. 1ªed. São Paulo: Contexto, v.1, p. 69-92, 2003.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD, R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, World Resources Institute, 1995.

HOUGHTON, J. T.; FILHO, L. G. M., CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. **Climate Change 1995: The Science of Climate Change**, Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 572, Cambridge University Press, Cambridge, GB, 1996.

HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T. TRMM and other data precipitation data set documentation, **Global Change Master Directory**, NASA, p.1-44, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – IDS**. Brasil 2010. Rio de Janeiro, 443p., 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros 2012**, IBGE, 291p. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica>. Acesso em: jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA / MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO–INEP/MEC. **Estatísticas do IDEB**. 2010. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/ideb>, Acesso em: set. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS–INPE. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (Projeto Prodes)**, 2014. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: dez. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE–IPCC. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of IPCC. In B. Mets, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE–IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, 2013.

JANCZURA, R. Risco ou vulnerabilidade social? **Textos & Contextos**. Porto Alegre, v.11, n.2, p.301-308, 2012.

KINTISCH, E. Carbon emissions: Improved monitoring of rainforests helps pierce haze of deforestation. **Science**, n.316, p.536-537, 2007.

KIRSTETTER, P. E.; HONG, Y.; GOURLEY, J.; SCHWALLER, M.; PETERSEN, W.; ZHANG, J. Comparison of TRMM 2A25 products version 6 and Version 7 with NOAA/NSSL ground radar-based national mosaic QPE. **Journal of Hydrometeorology**, v.14, n.2, p.661–669, 2013.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v.331, pp. 554, 2011.

LIU, Z.; OSTRENGA, D.; TENG, W.; KEMPLER, S. Tropical rainfall measuring mission (TRMM) precipitation data and services for research and applications. **Bulletin of American Meteorological Society**, p.1317-1326, 2012.

MACIEL, R. C. G.; CAVALCANTE-FILHO, P. G.; SOUZA, E. F. Distribuição de renda e pobreza na Floresta Amazônica: um estudo a partir da Reserva Extrativista (RESEX) Chico Mendes. **Revista de Estudos Sociais**, v. 16, n. 32, 2014.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. As dimensões da vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 1, 2006.

MARENGO J. A.; NOBRE, C.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.; SAMPAIO, G.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495-516, 2008.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R. P.; ALVES, L. M.; CUADRA, S.O V.; VALVERDE, M. C.; TORRES, R. R.; SANTOS, D. C.; FERRAZ, S. E. T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v.35, p. 1073-1097, 2009.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGON, G. O.; SOARES, W. R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. Projeto colaborativo realizado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil e o Met Office Hadley Centre (MOHC) do Reino Unido. INPE/Met Office, 2011.

MARENGO, J. A.; BORMA, L. S.; RODRIGUEZ, D. A.; PINHO, P.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. **American Journal of Climate Change**, v. 2, p. 87-96, 2013.

MARENGO, J. A. Mudanças de clima e os seus impactos no Brasil. **Brasília em Debate**, v. 1, p. 24, 2015.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. **American Meteorological Society**, p. 179-183, 1993.

MELO, M. F. T.; SILVA, H. P. Doenças Crônicas e os Determinantes Sociais da Saúde em Comunidades Quilombolas no Pará, Amazônia, Brasil. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisadores Negros/as (ABPN)**, v. 7, n. 16, p. 168-189, 2015.

MENDONÇA, F. A. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba: Ed. da UFPR, n.10, p.139-148, 2004.

MENEZES, J. A.; CONFALONIERI, U.; MADUREIRA, A. P.; DUVAL, I. B.; SANTOS, R. B.; MARGONARI, C. Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: The construction of a municipal vulnerability index. **PLoS One**, v. 13, n.2, p.1-30, 2018.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 207–214, 2005.

Ministério da Saúde–MS. **Datasus: Indicadores e dados básicos. Tema: indicadores de mortalidade**. 2018a. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/>. Acesso em: 27 jun. 2018.

Ministério da Saúde–MS. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN. Dengue–Notificações Registradas: banco de dados**. 2018b. Disponível em: <http://dtr2004.saude.gov.br/sinanweb/>. Acesso em: 30 jun. 2018.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

PELLETIER, P. Um Japão sem riscos? In: Veyret, Yvette. (Org.) **Os Riscos: o Homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, p. 201-220, 2007.

PELLING, M.; UITTO, J. I. Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change. In: Global Environmental Change Part B. **Environmental Hazards**. v.3, n.2. p.49–62, 2001.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO–PNUD. **Relatório de Desenvolvimento Humano 2007/2008** – Combater as Alterações Climáticas: Solidariedade num Mundo Dividido, 2007.

PRABHU, R., COLFER, C. J. P., DUDLEY, R. G. **Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management**. Toolbox Series, n. 1. Indonesia: CIFOR, 1999.

PRAKASH, S.; MITRA, A. K.; MOMIN, I. M.; GAIROLA, R. M.; PAI, D. S.; RAJAGOPAL, E. N.; BASU, S. Review of recent evaluations of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) research products against ground-based observations over Indian land and oceanic regions. **MAUSAM**, v.66, n.3, p.355-366, 2014.

REBELO, F. **Riscos naturais e acção antrópica**. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2003.

REZENDE, A. J.; SLOMSKI, V.; CORRAR, L. J. A Gestão pública municipal e a eficiência dos gastos públicos: uma investigação empírica entre as políticas públicas e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios do estado de São Paulo. **Revista Universo Contábil**, v. 1, n. 1, p. 24-40, 2007.

RIBEIRO, W. C. Riscos e vulnerabilidade urbana no Brasil. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Universidad de Barcelona. v.14, n.331, 2010.

RIVERA, J. A.; MARIANETTI, G.; HINRICHS, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. **Atmospheric Research**. v.213, p.437-449, 2018.

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; CHAVES, A. G. D.; GUIMARAES, V.; DE OLIVEIRA, E. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal of Climatology**, v.22, p.1663–1686, 2002.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.de; VILA, D. A. Combining TRMM and surface observation precipitation: technique and validation over South America. **Weather and Forecasting**. v.25, n.3, p.885-894, 2010.

RUDORFF, F. D. M.; BONETTI, J.; MORENO, D. A. Maré de tempestade. In: **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Herrmann, M. L. P. (ed.). Santa Catarina, Florianópolis, 2ªed., 5 p., 2005.

SANTOS, C. A. C.; MELO, M. M. M. S.; BRITO, J. I. B. Tendências de índices de extremos climáticos para o estado do Amazonas e suas relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p.1-10, 2016.

SANTOS, D.; CELENTANO, D.; GARCIA, J.; ARANIBAR, A.; VERÍSSIMO, A. **Índice de Progresso Social na Amazônia Brasileira - IPS Amazônia 2014**. Belém: IMAZON; Social Progress Imperative; 104 p, 2014.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; SANTOS, A. P. P. Determinação de regiões homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p.111-122, 2017.

SAREWITZ, D.; PIELKE, R. Jr. **XE Extreme events: developing a research agenda for the 21st century**. Workshop, Boulder, CO: NCAR Institute for the Study of Society and Environment. Report from June 7 – 9, 2000.

SCARPIN, J. E.; SLOMSKI, V. Estudo dos fatores condicionantes do índice de desenvolvimento humano nos municípios do estado do Paraná: instrumento de controladoria para a tomada de decisões na gestão governamental. **Revista de Administração Pública**. v.41, n.5, p.909-933, 2006.

SEPÚLVEDA, S. **Desenvolvimento microrregional sustentável: métodos para planejamento local**. Brasília: IICA. 296 p. 2005.

SETO, S.; IGUCHI, T.; UTSUMI, N.; KIGUCHI, M.; OKI, T. Evaluation of extreme rain estimates in the TRMM/PR standard product version 7 using high-temporal-resolution raingauge datasets over Japan, **Scientific Online Letters on the Atmosphere**, v.9, p.98-101, 2013.

SHI, W.; HIGGINS, R. W.; YAROSH, E.; KOUSKY, V. E. **The annual cycle and variability of precipitation in Brazil**. NCEP/Climate Prediction Center. U.S. Department of Commerce, NOAA/NWS, ATLAS, n. 9, 2000.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**. v. 2, n. 1-2, p. 149-160, 2002.

SHRESTHA, N. K.; QAMER, F. M.; PEDREROS, D.; MURTHY, M. S. R.; WAHID, S. M.; SHRESTHA, M. Evaluating the accuracy of Climate Hazard Group (CHG) satellite rainfall estimates for precipitation based drought monitoring in Koshi basin, Nepal. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v.13, p.138-151, 2017.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, v.10, n.2, p.137-148, 2007

SILVA, A. N. B. **Índices de extremos climáticos e tendência de precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental nas últimas décadas**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, 2010.

SILVA DIAS, M. A. F. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, v. 103, p. 33-40, 2014.

SILVA FERREIRA, D. B. S.; DE SOUZA, E. B.; MORAES, B. C.; MEIRA FILHO, L. G. Spatial and temporal variability of rainfall in Eastern Amazon during the rainy season. **The Scientific World Journal**, v. 2015, p.1-9, 2015.

SILVA JUNIOR, O. M.da; SZLAFSZTEIN, C. F. Análise de risco como critério a gestão do território: um estudo do plano diretor do município de Alenquer (PA). **Olam: Ciência & Tecnologia**. v. 10, n. 2, p. 143-170, 2010.

SILVA, V., KOUSKY, V.; SHI, W.; HIGGINS, W. **Improved CPC gridded historical daily precipitation analyses over Brazil**. In: 30th Annual climate diagnostics & prediction workshop. The Pennsylvania State University - USA, v.8, n. 4, p.847-861, 2007.

SMITHERS, J.; SMIT, B. Human adaptation to climatic variability and change. **Global Environmental Change**. v. 7, n. 2, p.129–146, 1997.

SOUZA, E. B.de; ALVES, J. M. B.; NOBRE, P. Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do Nordeste Brasileiro em associação aos eventos do Padrão de Dipolo sobre o Atlântico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), Brasil, v. 13, n.2, p. 45-56, 1998.

SOUZA, E. B.de; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the Eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, p. 177-191, 2005.

SOUZA, E. B.de; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/Northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on a weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 19, n.3, p. 113-122, 2004.

SOUZA, E. B.de; KAYANO, M. T.; TOTA, J.; PEZZI, L. P.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Pattern on the Amazonian Rainfall during 1960-1998. **Acta Amazônica** (online), Brasil, v. 30, n.2, p. 305-318, 2000.

SZLAFSZTEIN, C.; MARQUES, O.; MAIA, H.; PRETTE, M.; FISCHENICH, P.; ALTIERI, F. Referências metodológicas para mapeamento de riscos naturais na Amazônia: mapeando as vulnerabilidades. Brasília: MMA/GTZ, 60 p, 2010.

SZLAFSZTEIN, C. The Brazilian Amazon coastal zone management: implementation and development obstacles. **Journal of Coastal Conservation**, v. 16, p. 335-343, 2012.

SZLAFSZTEIN, C.; REIS, V. L. **Plano de gestão de riscos de desastres ambientais do estado do Acre**. 1ª ed. Rio Branco: v. 1, 89p., SEMA, 2012.

SU, F.; HONG, Y.; LETTENMAIER, D. P. Evaluation of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. **Journal of Hydrometeorology**. v. 9, p. 622–640, 2008.

TANG, D. L.; SUI, G. J. Typhoon impact and crisis management. **Advances in Natural and Technological Hazards Research**. Springer, v.40, 580p. 2014.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILLIPS, O. L.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; MOLINO, J. F.; MONTEAGUDO, A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; MONTERO, J. C.; FELDPAUSCH, T. R.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MOSTACEDO, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R. L.; TERBORGH, J.; WITTMANN, F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; MARIMON, B. H.; GUIMARÃES VIEIRA, I. C.; AMARAL, I. L.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; CÁRDENAS LÓPEZ, D.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; MATOS, F. D. DE A.; DÁVILA, N.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; STEVENSON DIAZ, P. R.; COSTA, F.; EMILIO, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; MONTOYA, A. J. D.; FERNANDEZ PIEDADE, M. T.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARROYO, L.; GRIBEL, R.; FINE, P. V. A.; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD C., G. A.; BAKER, T. R.; CERÓN, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP, J.; ZARTMAN, C. E.; DALY, D.; NEILL, D.; SILVEIRA, M.; PAREDES, M. R.; CHAVE, J.; LIMA-FILHO, D. DE A.; JØRGENSEN, P. M.; FUENTES, A.; SCHÖNGART, J.; CORNEJO-VALVERDE, F.; DI FIORE, A.; JIMENEZ, E. M.; PEÑUELA-MORA, M. C.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS, G.; VAN ANDEL, T. R.; VON HILDEBRAND, P.; HOFFMAN, B.; ZENT, E. L.; MALHI, Y.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; RUSCHELL, A. R.; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHUTZ, A. C.; GONZALES, T.; TRINDADE-NASCIMENTO, M.; RAMIREZ-ANGULO, H.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; UMAÑA MEDINA, M. N.; VAN DER HEIJDEN, G.; VELA, C. I. A.; VILANOVA-TORRE, E.; VRIESENDORP, C.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.; URREGO-GIRALDO, L. E.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; PALACIOS-CUENCA, W.; PAULETTO, D.; VALDERRAMA-SANDOVAL, E.; VALENZUELA-GAMARRA, L.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, M. R. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**. v. 342, n. 6156, p. 325-334, 2013.

TORRES, R. R.; LAPOLA, D. M.; MARENGO, J. A.; LOMBARDO, M. A. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climate Change**. v.115 p.597–609, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME–UNEP. **Towards a green economy: pathways to sustainable development and poverty eradication**. Report, United Nations Environment Programme, Nairobi. 2011.

VALE, F. A. F.; TOLEDO, P. M.; VIEIRA, I. C. M. Análise comparativa de indicadores de sustentabilidade entre os estados da Amazônia Legal. **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v.9, n.1, p.214-231, 2018.

VALVERDE, M. C. A interdependência entre vulnerabilidade climática e socioeconômica na região do ABC paulista. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v.20, n.3, p.39-60, 2017.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital, 443p. Recife, 2006.

VINCENT, K. **Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa**. Tyndall Centre for Climate Change Research and School of Environmental Sciences. University of East Anglia, Working Paper 56, 2004.

VÖRÖSMARTY, C. J.; GUENNI, L. B.; WOLLHEIM, W. M.; PELLERIN, B.; BJERKLIE, D.; CARDOSO, M.; D'ALMEIDA, C.; GREEN, P.; COLON, L. Extreme rainfall, vulnerability and risk: a continental-scale assessment for South America. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**. v. 371, n. 2002, 2013.

WANG, J.; ADLER, R. F.; HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. An updated TRMM composite climatology of tropical rainfall and its validation. **Journal of Climate**. v.27, n.1 p.273–284, 2014.

WAQUIL, P.; SCHNEIDER, S.; FILIPPI, E.; RUCKERT, A; RAMBO, A; RADOMSKY, G; CONTERATO, M.; SPECHT, S. Avaliação de desenvolvimento territorial em quatro territórios rurais no Brasil. **Revista do Desenvolvimento Regional**. v.15, n.1, p.104-127, 2010

WATSON, R. T.; ZINYOWERA M. C.; MOSS R. H. **Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses**. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

WELLE, T.; BIRKMANN, J.; KRAUSE, D.; SUAREZ, D. C.; SETIADI, N.; WOLFERTZ, J. **The World Risk Index: a concept for the assessment of risk and vulnerability at global/national scales.** In: J. Birkmann (ed.), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, 2.ed., United Nations University, New York, p. 219–251, 2013.

WISNER, B. **Vulnerability.** In: KITCHIN, R.; THRIFT, N. (edt.). *International encyclopedia of human geography.* [Coventry, UK: Elsevier Science], p.176-182, 2009.

XAVIER, T. Ma. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. S.; DIAS, M. A. F. S. A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27-43, 2000.

ZAMBRANO, F.; WARDLOW, B.; TADESSE, T.; LILLO-SAAVEDRA, M.; LAGOS, O. Evaluating satellite-derived long-term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile. **Atmospheric Research**. v.186, n.1, p.26-42, 2017.

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. **Environment Research Letters**. v.3, n.1, p.014002 (9p), 2008.