



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO ACADÊMICO EM GEOGRAFIA

*Linha de Pesquisa 2: Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na
Amazônia*

**EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EM BELÉM-PA (1990-2023): FREQUÊNCIA,
INTENSIDADE E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**

Mestrando: Fagner Silva da Costa Junior

Orientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo

BELÉM

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO ACADÊMICO EM GEOGRAFIA

*Linha de Pesquisa 2: Dinâmicas Socioambientais e Recursos Naturais na
Amazônia*

**EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EM BELÉM-PA (1990-2023): FREQUÊNCIA,
INTENSIDADE E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**

Dissertação apresentada como requisito
necessário para obtenção do título de Mestre
em Geografia do Programa de Pós-graduação
em Geografia da Universidade Federal do Pará.
Mestrando: Fagner Silva da Costa Junior
Orientador: Prof. Dr. Alan Nunes Araújo

BELÉM

2025

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)

C837e Costa Junior, Fagner Silva da.
Eventos climáticos extremos em Belém-PA (1990-2023): :
frequência, intensidade e impactos socioambientais / Fagner Silva
da Costa Junior, . — 2025.
xii, 73 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alan Nunes Araújo
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-
Graduação em Geografia, Belém, 2025.

1. Eventos Climáticos Extremos. 2. Mudanças Climáticas.
3. Clima Urbano. 4. Amazônia. 5. Belém-PA. I. Título.

CDD 551.609811



FAGNER SILVA DA COSTA JUNIOR

**EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EM BELÉM-PA (1990-2023): FREQUÊNCIA,
INTENSIDADE E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS**

Dissertação apresentada como requisito
necessário para obtenção do título de Mestre
em Geografia do Programa de Pós-graduação
em Geografia da Universidade Federal do Pará.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alan Nunes Araújo
(Presidente – Orientador)

Prof. Dr. Marcos Ronielly da Silva Santos
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Carlos Alexandre Leão Bordalo
(Examinador Interno)

DEDICATÓRIA

Gostaria de dedicar esta dissertação ao meu filho Arthur que estará sempre em meu coração e nas minhas lembranças. Amo-te, Arthur.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pelos meus objetivos alcançados, pela honra de estar finalizando meu mestrado e, também, pelo fato de encerrar esse ciclo de dissertação e ter superado todos os obstáculos e dificuldades que tive ao longo desses dois anos. Gostaria de agradecer a minha esposa, Monique Karoline, por todo o suporte que ela me deu ao longo desses dois anos, pelo incentivo de fazer com que eu não desista de seguir nesse caminho acadêmico, continue me aperfeiçoando cada vez mais, por todo o amor, carinho e atenção que me fazem continuar.

Além disso, quero agradecer aos meus filhos de quatro patas que, também, me proporcionam amor e carinho, e a minha vontade de dá o melhor para eles, me fez seguir em frente ao longo desses dois anos. Ademais, gostaria de agradecer ao professor Alan Nunes, por toda a orientação e paciência ao longo desses anos, mostrando sempre o caminho mais adequado para chegar nos resultados. Vale ressaltar, todo o carinho e admiração que adquiri pelo seu excelente profissionalismo e amor pela profissão, e por me inspirar a ser um geógrafo como ele é. Por fim, sou grato a minha mãe, meu pai, minha irmã, minhas tias, meu afilhado, minha sogra, meu sogro e a todos os meus familiares que sempre me deram suporte a tudo o que precisei para finalizar essa dissertação.

Gostaria, também, de deixar meu agradecimento a Ufpa e ao Ppgeo, por toda a estrutura fornecida e excelentes profissionais que sempre estavam a disposição para ajudar. Aos meus amigos e colegas, Anderson Aviz e Felipe Teixeira, por toda a ajuda e suporte fornecido, meu “muito Obrigado a todos!”.

RESUMO

Este estudo de mestrado em Geografia intitulado " Eventos climáticos extremos em Belém-Pa (1990-2023): frequência, intensidade e impactos socioambientais" tem como objetivo principal identificar e caracterizar os eventos climáticos extremos no município de Belém-PA entre 1990 e 2023, analisando sua frequência, intensidade e impactos socioambientais, e discutindo possíveis relações com mudanças climáticas regionais e locais. O município de Belém, como uma das principais metrópoles da Amazônia, enfrenta desafios particulares decorrentes dos eventos climáticos extremos, como enchentes, secas, calor extremo e tempestades intensas. Esses eventos têm implicações diretas na vida urbana, na infraestrutura, na saúde pública e no meio ambiente, afetando tanto a população local quanto a dinâmica socioeconômica da região. A metodologia deste estudo fundamenta-se no método quali-quantitativo, com a coleta e discussões dos dados, índices diários de precipitação e temperatura máxima, imagens de satélite CHIRPS e MODIS, além de dados da estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Será feita, também, uma revisão bibliográfica de um relatório da Embrapa (2002). Posteriormente, os dados foram transformados em gráficos e tabelas que identificam os grandes desvios do estado climático e serão comparados com as normais climatológicas estabelecidas pelo INMET. Além da pesquisa se baseou na Teoria Geral do Sistema de Bertalanffy, e da Teoria do Clima Urbano, de Monteiro (1975). Os resultados obtidos, fornecem a compreensão dos impactos das mudanças climáticas em Belém, tendo em vista a mudança do clima do município, que está mais chuvoso e com a presença de chuvas diárias intensas e, na maioria das vezes, acima de 100 mm e está se tornando mais quente, com a elevação da temperatura média e a presença de máximas diárias chegando a 38°C. Desse modo, um dos principais impactos das mudanças climáticas é a presença de extremos climáticos mais frequentes e intensos ao longo do período de 1990-2023, e isso está relacionado a fatores que contribuem para a ocorrência desses eventos, tais como mudanças no uso da terra, urbanização, desmatamento, emissões de gases de efeito estufa e fenômenos climáticos globais, como El Niño e La Niña.

Palavras-Chaves: Eventos Climáticos Extremos; Mudanças Climáticas; Clima Urbano; Amazônia; Belém-PA

ABSTRACT

This master's degree study in Geography entitled "Extreme climate events in Belém-PA (1990-2023): frequency, intensity and socio-environmental impacts" has as its main objective to identify and characterize extreme climate events in the municipality of Belém-PA between 1990 and 2023, analyzing their frequency, intensity and socio-environmental impacts, and discussing possible relationships with regional and local climate changes. The municipality of Belém, as one of the main metropolises in the Amazon, faces particular challenges arising from extreme climate events, such as floods, droughts, extreme heat and intense storms. These events have direct implications for urban life, infrastructure, public health and the environment, affecting both the local population and the socioeconomic dynamics of the region. The methodology of this study is based on the qualitative-quantitative method, with the collection and discussion of data, daily precipitation and maximum temperature indices, CHIRPS and MODIS satellite images, as well as data from the conventional station of the National Institute of Meteorology (INMET). A bibliographic review of a report by Embrapa (2002) will also be conducted. The data will then be transformed into graphs and tables that identify major deviations in the climate state and will be compared with the climatological norms established by INMET. In addition, the research was based on Bertalanffy's General System Theory and Monteiro's Urban Climate Theory (1975). The results obtained provide an understanding of the impacts of climate change in Belém, considering the change in the city's climate, which is rainier and has heavy daily rainfall, most of the time above 100 mm, and is becoming hotter, with an increase in average temperature and daily highs reaching 38°C. Thus, one of the main impacts of climate change is the presence of more frequent and intense climate extremes over the period 1990-2023, and this is related to factors that contribute to the occurrence of these events, such as changes in land use, urbanization, deforestation, greenhouse gas emissions and global climate phenomena, such as El Niño and La Niña.

Keywords: Extreme Climate Events; Climate Change; Urban Climate; Amazon; Belém-PA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização do Município de Belém-PA.....	39
Figura 2 - Climograma da Cidade de Belém-PA (1961-2023)	41
Figura 3 - Caminho Metodológico da Dissertação.....	49
Figura 4 – Mapas da Cronologia dos Extremos Diários de Temperatura de Precipitação Máxima, de 1990-2023.....	52
Figura 5 – Extremos de Precipitação da Cidade de Belém, entre os meses de Dezembro à Maio.....	54
Figura 6 - Extremos de Precipitação da Cidade de Belém, entre os anos de 1990-2023, nos meses de junho a agosto.....	56
Figura 7 - Extremos de Precipitação da Cidade de Belém, entre os anos de 1990-2023, nos meses de Set-Nov.....	58
Figura 8 – Extremos de Precipitação Mensal da cidade de Belém entre os anos de 1990-2023.....	60
Figura 9 – Eventos Climáticos Extremos de Temperatura Máxima Diária (°C) mais significativos, entre os anos de 1990-2023.....	62
Figura 10 – Extremos Diários de Temperatura da cidade de Belém, 1991-2023.....	64
Figura 11 – Dados médios da temperatura máxima e média entre os anos de 1896-1922 e 1930-1960.....	68
Figura 12 – Linha do tempo de Extremos de Precipitação Diário da Cidade de Belém, 1991-2023.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros para Identificação dos Extremos de Precipitação Diária.....	53
Tabela 2 - Normais Climatológicas da Temperatura Máxima Diária (°C).....	61
Tabela 3 - Dados Climáticos da Média da Temperatura máxima e Temperatura Média (1961-1990).....	69
Tabela 4 - Dados Climáticos da Média da Temperatura máxima e Temperatura Média (1991-2023).....	69
Tabela 5 - Dados Climáticos do Índice de Precipitação, da cidade de Belém, entre os anos de 1961-1990.....	70
Tabela 6 - Dados Climáticos de Precipitação, da cidade de Belém, entre os anos de 1991-2023.....	71

LISTA DE ABREVIACÕES

EMBRAPA -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CHIRPS – *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station*

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

ETCCDI – *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*

IPCC – Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

S.C.A - Sistema Climático da Amazônia

S.C.U - Sistema Climático Urbano

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

2.2 - Objetivos Específicos

3 - HIPÓTESE

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 – A Origem e a Epistemologia da Climatologia

4.1.1 – Surgimento da Climatologia, Paradigmas Climatológicos e o Conceito de Clima

4.2 – Teoria Geral dos Sistemas e a Relação com a Climatologia

4.3 Clima Urbano e sua Relação com a Tgs

4.4 – Sistema Climático da Amazônia e sua Relação com o Sistema Climático Urbano da Cidade de Belém

4.5 Eventos Climáticos Extremos uma Abordagem Conceitual

5. PERCURSO METODOLÓGICO

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CAPÍTULO 1: EVENTOS EXTREMOS DA CIDADE DE BELÉM (1990-2023)

6.1.1 Eventos Extremos de Precipitação da Cidade De Belém (1990-2023)

6.1.2 Eventos Extremos de Temperaturas Máximas Diárias da Cidade Belém

6.2 CAPÍTULO 2: EVENTOS EXTREMOS OU TENDÊNCIA CLIMÁTICA? ANÁLISE DOS ASPECTOS CLIMÁTICOS DA CIDADE NOS ÚLTIMOS 100 ANOS

6.3 CAPÍTULO 3: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O CLIMA URBANO DE BELÉM: PRINCIPAIS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da formação do planeta, têm-se observado oscilações climáticas, que podem manifestar-se tanto como aquecimento quanto como resfriamento, como evidenciado nos períodos de glaciação. Com o avanço das relações sócio-territoriais humanas, especialmente com o estabelecimento do sistema capitalista como modelo dominante de produção e economia, surgiu a capacidade de desenvolver máquinas capazes de acelerar o processo produtivo, marcando o advento da 1ª Revolução Industrial. A partir desse marco, a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera intensificou-se significativamente, bem como as grandes transformações antropogênicas que hoje são observadas e estudadas nos sistemas ambientais.

As atividades humanas, principalmente através das emissões de gases de efeito estufa, inequivocamente causaram o aquecimento global, com a temperatura da superfície global atingindo um valor 1,1°C mais alto entre 2011-2020 do que no período de 1850-1900. As emissões globais de gases de efeito estufa continuaram a aumentar, com contribuições históricas e contínuas desiguais decorrentes do uso insustentável de energia, do uso da terra e da mudança no uso da terra, dos estilos de vida e dos padrões de consumo e produção entre regiões, entre países e dentro deles, e entre indivíduos (alta confiança). (IPCC, 2023 apud BRASIL, 2023, p. 20)

Diante desse cenário, torna-se relevante destacar que na atualidade as mudanças climáticas já não são entendidas, exclusivamente, como resultado de processos naturais, mas, também, decorrem principalmente da intensificação das atividades humanas, especialmente concentradas nos conglomerados urbanos, como cidades, metrópoles e megalópoles. Nesse sentido, o relatório do *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2023), diz que

É inequívoco que a influência humana aqueceu a atmosfera, o oceano e a terra. O nível médio global do mar aumentou em 0,20 [0,15 a 0,25] m entre 1901 e 2018. A taxa média de elevação do nível do mar foi de 1,3 [0,6 a 2,1] mm ano-1 entre 1901 e 1971, aumentando para 1,9 [0,8 a 2,9] mm ano-1 entre 1971 e 2006, e aumentando ainda mais para 3,7 [3,2 a 4,2] mm ano-1 entre 2006 e 2018 (alta confiança). A influência humana foi muito provavelmente o fator principal destes aumentos desde pelo menos 1971. As evidências das mudanças observadas em extremos como ondas de calor, precipitações intensas, secas e ciclones tropicais e, em particular, sua atribuição à influência humana, se fortaleceram ainda mais desde o AR5. A influência humana provavelmente aumentou a probabilidade de eventos extremos compostos desde a década de 1950, incluindo aumentos na frequência de ondas de calor e secas simultâneas (alta confiança). (IPCC, 2023 apud BRASIL, 2023, p. 21)

Desse modo, essa intensificação está intrinsecamente ligada a um planejamento urbano deficiente por parte das autoridades públicas, que muitas vezes negligenciam as condições socioambientais da população, em particular daqueles de classes sociais mais baixas. Esses grupos, frequentemente residentes em áreas vulneráveis como morros, favelas e bairros periféricos desprovidos de infraestrutura básica e serviços de bem-estar social adequados,

acabam sendo os mais afetados pelas mudanças climáticas. Diante desse contexto de crise climática global, torna-se cada vez mais evidente que as comunidades mais pobres sofrem as maiores consequências dos eventos climáticos extremos e das alterações no clima, como aponta o relatório do IPCC, em 2023, ao dizer que

Aproximadamente 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas vivem em contextos altamente vulneráveis à mudança do clima. A vulnerabilidade humana e dos ecossistemas são interdependentes. Regiões e pessoas com consideráveis restrições ao desenvolvimento têm alta vulnerabilidade às ameaças climáticas. O aumento de eventos meteorológicos e climáticos extremos expôs milhões de pessoas à insegurança alimentar aguda¹² e reduziu a segurança hídrica, com os maiores impactos adversos observados em muitos locais e/ou comunidades na África, Ásia, América Central e do Sul, LDCs, Pequenas Ilhas e Ártico, e globalmente para os povos indígenas, pequenos produtores de alimentos e famílias de baixa renda. Entre 2010 e 2020, a mortalidade humana causada por enchentes, secas e tempestades foi 15 vezes maior em regiões altamente vulneráveis, em comparação com regiões de vulnerabilidade muito baixa (alta confiança). (IPCC, 2023 apud BRASIL, 2023, p. 21)

Desse modo, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em seu último Censo de 2022, ficou constatado que o Brasil é um país urbano tendo em vista que sua taxa de urbanização subiu de 85% (censo de 2010) para 87,4% e nas áreas urbanas 91,9% mora fora das favelas e 8,1% (12,4 mil favelas em 657 municípios) vive em favelas, sendo que no censo de 2010, era 6% (cerca de 6,329 favelas em 323 municípios) e a região norte tem a maior parte da população morando em favelas, sendo que na cidade de Belém, área de estudo dessa dissertação, tem 57% dos seus moradores morando em favelas (IBGE 2022 apud PAIVA, 2024). Nesse sentido, fica claro o crescimento desordenado das cidades brasileiras, em especial, das cidades amazônicas.

De acordo com Farias (2012, p.16), “o crescimento das cidades no Brasil não foi acompanhado da implementação de serviços de atendimento básico para a população resultando em diversas problemáticas socioambientais”. Na região amazônica o processo de urbanização não se difere das demais cidades das regiões brasileiras,

O processo de urbanização também tem apresentado um acelerado crescimento na região Amazônica. Dados da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM, 2010) e do Censo Demográfico do IBGE (2010), mostram que no período 1970-2010 a população urbana passou de 35,7% para 71,8% do total da região. Manaus, que em 1960 apresentava uma população próxima de 200 mil habitantes teve um crescimento de 750% em 50 anos, alcançando em 2010 1.792.881 habitantes (IBGE, 2010). Castro (2008) indica que nas últimas décadas este crescimento da população urbana na Amazônia tem ocorrido não apenas nas capitais dos estados, mas nas cidades médias, as quais cumprem o papel de centros sub-regionais. (FARIAS, 2012, p.16-17)

É lícito considerar, que a urbanização do estado do Pará se relaciona diretamente ao processo de urbanização da Amazônia, em especial, o da Amazônia Oriental que apresenta em

seu espaço urbano “cidades na floresta”, “cidades-empresas” e “cidades da floresta” (TRINDADE JUNIOR, 2010). De acordo com Trindade Junior (2010, p.121),

[...] Essa dinâmica da Amazônia oriental deve-se, em grande parte, à forte presença de frentes de expansão econômica e de grandes projetos que, diferentemente da Amazônia ocidental, não proporcionaram a excessiva concentração econômica, urbana e demográfica na metrópole e seu entorno, mas pulverizaram mão de obra, investimentos, capitais, redes técnicas etc. pelo interior da região, atendendo às estratégias de povoamento, de exploração de recursos e de integração econômica e territorial, estabelecidas pelo Estado brasileiro a partir da segunda metade do século XX.

Diante disso, o processo de urbanização da cidade de Belém não foi diferente, pois a primeira légua patrimonial, que possui é a mais bem estruturada, tornou-se elitizada e tem como característica a presença de empresas públicas e privadas ocupando a maior parte do território. De acordo com Trindade Junior,

[...] O que se observa com essa caracterização é que, mesmo apresentando um embrionário processo de metropolização, o adensamento populacional em Belém, na década de sessenta e de setenta, ocorreu de maneira mais restrita à Primeira Léngua Patrimonial. Até a década de sessenta, o centro de Belém já se mostrava consolidado, momento em que se acelera o processo de verticalização nessa área e nas suas imediações, ganhando destaque na década de setenta. Nesse processo, os terrenos de terra-firme ficaram concentrados nas mãos de pessoas de melhor poder aquisitivo. Além disso, o adensamento populacional se acentuou nas áreas mais centrais devido à existência de terrenos institucionais na atual área de transição, cuja posse ficou assegurada a instituições civis e militares. É o momento em que a população mais pobre passa a ocupar as áreas de baixadas, marcando os conflitos sociais pela moradia e promovendo o crescimento populacional na Primeira Léngua Patrimonial (TRINDADE JUNIOR, 1998, p.130 apud SANTOS, 2010, p.58)

Em suma, a população mais pobre foi obrigada a construir habitações próximas das áreas de planícies fluviais, ou margem de canais fluviais, e acabam sofrendo com inundações e alagamentos, por conta das fortes chuvas e má drenagem. Além disso, a população, também, sofre com altas temperaturas, especialmente, com doenças respiratórias e a formação de tempestades, promovidas pela convecção do aquecimento do ar.

Diante das transformações climáticas globais, a cidade vem enfrentando impactos significativos, incluindo a possibilidade cada vez mais frequente de ocorrência de eventos climáticos extremos, tanto em termos de índices de precipitação quanto de temperaturas máximas diárias. Portanto, o principal objetivo deste estudo é identificar e caracterizar os eventos climáticos extremos na cidade de Belém-PA entre 1990 e 2023, analisando sua frequência, intensidade e impactos socioambientais, e discutindo possíveis relações com mudanças climáticas regionais e locais.

Além disso, foi analisado os mecanismos precipitantes e fenômenos meteorológicos de várias escalas que influenciam o clima de Belém, como a Zona de Convergência Intertropical

(ZCIT), El Niño Oscilação Sul em sua fase positiva (El Niño) e sua fase negativa (La Niña), e suas interações com o sistema climático urbano, bem como compreender o Sistema climático urbano de Belém, relacionando os fenômenos regionais e globais às condições locais e avaliando seus impactos na vida urbana e infraestrutura. Ademais foi, também, identificado e analisado os Eventos Climáticos Extremos, de 1990 à 2023, como alagamentos, tempestades e calor extremo diário, avaliando sua frequência, intensidade e impactos na cidade de Belém.

Desse modo, o presente estudo, está respaldado na Teoria Geral do Sistema (TGS) e na Teoria do Clima Urbano (1976), de Monteiro, e foi necessário fazer uma revisão bibliográfica da origem e desenvolvimento da climatologia, teoria do clima urbano, TGS – buscando a conexão entre esses aportes teóricos – e uma revisão do conceito e entendimento do que é Eventos Climáticos Extremos e sua diferença de Desastre Natural e transformação para Tendência Climática. Essa revisão está no tópico de “Referencial Teórico”. Posteriormente, para a realização de outros objetivos da pesquisa, foi utilizado os dados do satélite CHIRPS, MODIS e estação convencional e automática do INMET para identificar os extremos de temperatura máxima diárias e índice de precipitação máxima diária. Além de usar os registros de jornais, armazenados no Centro Cultural e Turístico Tancredo Neves (CENTUR), para demonstrar os impactos socioambientais desses extremos climáticos.

Nesse sentido, a presente dissertação possui três capítulos de resultados sendo eles: 1- “Eventos Extremos da Cidade de Belém (1990-2023)”, em que identifica os principais extremos climáticos da cidade bem como o que o causou, sua intensidade e frequência, se aumentou e diminuiu a cada episódio; 2 - “Eventos Extremos ou Tendência Climática? Análise dos Aspectos Climáticos da Cidade nos últimos 100 anos”, em que utiliza os dados da Embrapa (2002) de índice temperatura e precipitação, analisa os extremos que ocorreram com os atuais; e 3 - “Mudanças Climáticas e o Clima Urbano de Belém: Principais Impactos Socioambientais”, em que usa os registros de jornais do Centur para demonstrar os impactos socioambientais dos extremos climáticos e das mudanças climáticas.

Por fim, entende-se nesta pesquisa que os eventos climáticos extremos estão ocorrendo na cidade de Belém, de forma mais frequente, principalmente nos últimos anos, promovendo aumento no índice diário de precipitações, temperaturas de máxima diárias. Diante disso, o tópico seguinte detalha os objetivos, geral e específico, da pesquisa bem como hipótese e desenvolvimento do referencial teórico.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

Identificar e caracterizar os eventos climáticos extremos na cidade de Belém-PA, entre 1990 e 2023, analisando sua frequência, intensidade e impactos socioambientais, e discutindo possíveis relações com mudanças climáticas regionais e locais

2.2 - Objetivos Específicos

- Caracterizar os eventos climáticos extremos ocorridos em Belém-PA bem como relacionar as suas causas ligadas a influência de fatores regionais e urbanos na intensificação desses fenômenos
- Avaliar a evolução temporal e espacial da frequência e intensidade desses eventos
- Discutir os impactos socioambientais desses eventos extremos no município

3 - HIPÓTESE

O município de Belém tem registrado um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, entre 1990 e 2023, resultado da interação entre variabilidades naturais do clima, processos de urbanização e alterações no uso do solo, podendo indicar tendências associadas às mudanças climáticas regionais.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, foram apresentadas as principais teorias que fundamentam este estudo, com ênfase na Teoria dos Sistemas e no conceito de Sistema Clima Urbano. Inicialmente, será abordada a origem, epistemologia e os paradigmas que norteiam a climatologia enquanto campo de conhecimento, situando sua evolução histórica e os marcos teóricos que a consolidaram. Em seguida, foi analisada a relação do clima urbano, em especial, o que foi proposto por Monteiro (1975), e sua relação com a Teoria Geral do Sistema. Por conseguinte, discutiu-se o funcionamento do Sistema Climático da Amazônia, com uma análise de suas características dinâmicas, estruturais e funcionais. Assim, foram estabelecidas as correlações entre esse sistema e o Sistema Urbano de Belém, considerando as interações entre os fenômenos climáticos e meteorológicos mais influentes sobre a cidade, destacando os impactos do ambiente urbano sobre o clima local e vice-versa. Por fim, foi analisado e aprofundado o conceito de Eventos Climáticos Extremos e a diferença desse fenômeno com outros que ocorrem e, muitas das vezes, pensam que é a mesma coisa. Desse modo, a proposta é integrar essas perspectivas teóricas para compreender as interações entre a urbanização e o clima, especialmente em regiões de elevada complexidade ambiental como a Amazônia e conseguir

compreender que extremos climáticos ocorrem, na região e na cidade de Belém, e o por que e como eles ocorrem?

4.1 – A Origem e a Epistemologia da Climatologia

A partir do momento em que os seres humanos começam a se organizar como uma civilização nômade e começam a ter consciência sobre as mudanças do tempo atmosférico (estações do ano) e começam a se deslocar para regiões onde esse tempo vai estar com temperaturas mais amenas, com mais animais para caçar, e, posteriormente, retornando para a região de onde veio, tendo assim mais chance de sobrevivência, percebe-se o conhecimento primitivo sobre o comportamento atmosférico.

Dito isto, quando os seres humanos começam a cultivar a terra e se estabelecem em um lugar, formando as aldeias e tribos, necessitam entender mais sobre as variações do comportamento atmosférico e o conhecimento passado de geração em geração, pelos povos nômades, começam agora a serem cruciais para determinar a sobrevivência dessas civilizações em tempos de invernos, por exemplo.

Sant’Anna Neto (2001) relata que as civilizações mais primitivas se preocupavam com os fenômenos climáticos devido à influência no seu cotidiano e em suas atividades para a sua sobrevivência material. Esses povos dependiam das variações sazonais dos períodos secos e chuvosos, quentes e frios para cultivar a terra, para determinar o período de caça, das migrações e de seus rituais. Sua concepção de mundo e, portanto, dos fenômenos climáticos estavam atreladas a um conhecimento mítico marcado por entidades que controlavam o nascer e o pôr do Sol, as chuvas, o vento e demais fenômenos atmosféricos, além de seu próprio destino. (ELY, 2006, p.18-19)

Por exemplo, desde a antiguidade os povos indígenas, egípcios e babilônicos tinham e desenvolveram um conhecimento baseado na observação dos fenômenos climatológicos, sem base científica (SOARES, 2015). Além disso, Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.11) dizem que

O conhecimento humano que conseguiu se desenvolver e apresentar explicações lógicas para aqueles fenômenos naturais formou, então, as bases iniciais para a origem do estudo científico da atmosfera. Bem antes da era cristã, no ocidente, o conhecimento da camada de gases que envolve a Terra já era produzido e registrado de várias maneiras. O regime de cheias e vazantes do rio Nilo, por exemplo, levou os egípcios a refletir sobre os elementos do ar dos quais derivam a umidade e a consequente fertilidade dos solos de várzeas do rio, recurso natural responsável pelo abastecimento alimentar daquele povo.

Nesse sentido, quando os gregos começam a se apropriar dos conhecimentos já existente sobre as observações dos fenômenos atmosféricos e começam a se aprofundar nesse estudo, surge o conceito de “*Klima*” que era “utilizado para designar o resultado da inclinação da Terra em direção aos Pólos ou a inclinação do eixo da Terra sobre o plano da elíptica, originando nossa noção de latitude” (ELY, 2006, p.21). Posteriormente, Ptolomeu colocará nomes para as

zonas contíguas delimitadas pelos paralelos, diferenciando essas zonas pelas diferenças de obliquidade dos raios solares sobre a superfície terrestre e pela duração do dia mais longo do ano. (JESUS, 1995, p. 126 apud ELY, 2006, p.21).

A aplicação desse conceito permitiu o desenvolvimento dos estudos sobre a atmosfera sob dois prismas: um, que se dedicava às descrições dos climas (zonas latitudinais), correlacionando-as com a economia e discutindo as formas de adaptação do homem ao meio, além da proposta de Parmênides de uma incipiente classificação climática em zonas tórrida, temperada e frígida; e outro que desenvolvia as análises de fenômenos atmosféricos específicos. (ELY, 2006, p. 21)

Soares (2015) diz que Erastóstenes aborda sobre a divisão das zonas climáticas, tendo os solstícios como principal ponto de referência, além de dividir a Terra nas seguintes zonas: “polos, ártico, temperadas, trópicos (Câncer, Capricórnio), equador” (LAWSON, 2004, p. 79 apud SOARES, 2015, p.23). Exerce, também, comentários que relacionam os solstícios e zonas climáticas, temperatura e precipitação, “ele acreditava que os trópicos, onde ocorrem os solstícios, têm mais extremo de calor do que o Equador, que é maior em elevação e tem mais chuva” (LAWSON, 2004, p. 79 apud SOARES, 2015, p. 23).

Outro filósofo grego que contribuiu para o estudo dos fenômenos climatológicos foi Aristóteles, com o seu método dedutivo, escreveu a obra “*Meteorológica*” onde reuniu todo o conhecimento então existente sobre o tempo e clima, descrevendo sobre os eventos como chuva, neve, furacões, trovões, entre outros (OLIVEIRA, 2009, p. 17 apud SOARES, 2015, p. 23). Com isso, essas explicações propiciaram deduções voltadas ao dinamismo atmosférico, garantindo algum tipo de organização científica sobre os fenômenos que se desenvolviam na natureza. (SOARES, 2015, p. 24)

Soares (2015) diz que apesar do conhecimento dos filósofos gregos serem o método dedutivo, vale ressaltar a publicação de registros e explicações dos fenômenos de uma forma mais sistematizada, ao comparar com o conhecimento das sociedades primitivas, percebe-se uma evolução. Destarte, após os gregos, outros pensadores irão contribuir para o estudo do comportamento da atmosfera, aprofundando as bases para o que viram a serem ciências consolidadas que é a Climatologia e a Meteorologia, tem-se a fase renascentista (séc. XV ao séc. XVI) e a ciência moderna (séc. XVI ao séc. XVIII).

Na fase renascentista, no apogeu das invenções dos instrumentos de mensuração das variáveis climatológicas, destacando-se, conforme Linacre (1992): 1450 surge o anemômetro (Leone Battista Alberti); 1500, o higrômetro (Leonardo da Vinci); 1593, o termômetro (Galileu Galilei); 1643, o barômetro (Evangelista Torricelli); dentre outros instrumentos, permitindo a coleta e organização dos dados responsáveis pelos primeiros estudos climáticos modernos, algo que se concretiza com afinco a partir da “Revolução Científica”. (SOARES, 2015, p. 24)

Diante disso, percebe-se que o estudo do comportamento atmosférico começa a ser consolidado e as bases da Climatologia e Meteorologia, vão ser fundadas com o advento e desenvolvimento dos métodos científicos. A seguir, o próximo tópico aborda sobre o surgimento da climatologia e os principais conceitos de clima.

4.1.1 – Surgimento da Climatologia, Paradigmas Climatológicos e o Conceito de Clima

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a Meteorologia e a Climatologia permaneceram juntas, como um só ramo do conhecimento que estuda o comportamento Atmosférico, por um longo período da história do homem. Foi só a partir da sistematização do conhecimento científico, nos séculos XVIII e XIX, com o advento do positivismo que possibilitou a fragmentação do conhecimento científico em ramos diferentes, dando origem a ciência moderna (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A Meteorologia trata da dimensão física da atmosfera. Em sua especificidade, ela aborda, de maneira individualizada, fenômenos meteorológicos, como raios, trovões, descargas elétricas, nuvens, composição físico-química do ar, previsão do tempo, entre outros. Dado à sua característica de ciência física, a Meteorologia trabalha também com a concepção de instrumentos para a mensuração dos elementos e fenômenos atmosféricos, o que possibilita o registro desses fenômenos e forma uma fonte de dados de fundamental importância para o desenvolvimento dos estudos de Climatologia. (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.14)

Dessa maneira, os autores dizem que “o estudo da atmosfera pela Meteorologia ficou pertencendo ao campo das ciências naturais (ao ramo da Física), sendo de sua competência o estudo dos fenômenos isolados da atmosfera e do tempo atmosférico” (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.13). Além disso, a Meteorologia apresenta duas áreas de pesquisa que é a Meteorologia Tradicional, também, conhecida como Analítico-separativa, pois analisa os elementos atmosféricos de forma separada e depois tenta reconstruir esses elementos, porém a dinâmica não é a mesma, haja vista que foi destruída. A outra área é a Meteorologia Dinâmica que considera todo o conjunto atmosférico e isso faz com que essa vertente seja a preferida pela Geografia, pois analisa o todo (BARROS e Zavattini, 2009).

Com isso, a origem da Climatologia, segundo Mendonça e Danni-oliveira (2007), deu-se após a sistematização da Meteorologia e está inserida em uma subdivisão desta ciência e da Geografia. entende-se que essa ciência tem o objetivo de estudar a espacialização dos elementos e dos fenômenos atmosféricos e sua evolução por um longo período. Ademais, a Climatologia estuda “os caracteres da atmosfera em contato com a superfície terrestre e a distribuição espacial desses caracteres” (PÉDELABORDE, 1970, p. 5; apud BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.256) e apesar de se relacionar com as várias áreas da Geografia (Humana, Física e Biológica, por exemplo), “encontra suas bases na Meteorologia, que estuda a atmosfera e seus fenômenos, e

preocupa-se com o registro e a medição destes, a fim de que possa determinar as condições físicas sob as quais foram produzidos” (ZAVATTINI, 2000; apud BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.256).

Essas relações entre Climatologia e Meteorologia fazem com que os geógrafos discutam sobre os seus usos e aplicações, cujo debate deve começar pela conceituação de “tempo” e “clima”. Barros e Zavattini (2009) diz que “o tempo é uma combinação passageira, efêmera, de curta duração. Já o clima é um conjunto de tendências - mais ou menos estáveis - que resulta em condições relativamente permanentes, durante um período de tempo mais extenso, mais longo ou mais duradouro.” Destarte, tempo atmosférico é a caracterização da atmosfera naquele determinado momento e lugar em que ela está sendo analisada.

Para os meteorologistas o tempo é o “conjunto de valores que, em um dado momento e em um determinado lugar, caracterizam o estado atmosférico” (BALDIT Apud PÉDELABORDE, 1970, p. 9), ou seja, é uma combinação que existe num dado momento, porém no instante seguinte já é outra, diferente da anterior. Desta definição, três idéias podem ser extraídas: a) os elementos do clima não agem isoladamente; b) as combinações são instantâneas, efêmeras; e, c) tais combinações ocorrem em pontos precisos da superfície da Terra. Como se vê, trata-se de uma noção de tempo muito restritiva, muitíssimo estreita. (BARROS E ZAVATTINI, 2009, p. 256)

Diante disso, Barros e Zavattini (2009) vão dizer que para os geógrafos, interessa um conceito de tempo mais amplo, que eles vão denominar de “tipos de tempo” que se refere “às combinações que se repetem, nem sempre idênticas, porém produtoras de sensações fisiológicas semelhantes”, ou seja, fenômenos que se formam por fatores não necessariamente iguais em um determinado período, vai constituir um tipo de tempo.

Nesse contexto, os clássicos conceitos de clima vão se preocupar com as particularidades do comportamento dos elementos climáticos em um determinado período e, posteriormente, será estabelecido uma análise com período de 30 anos (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007). Para Pédelaborde (1970 Apud BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.256) o clima vai resultar das relações “dominantes” e “permanentes” dos elementos mais gerais da atmosfera sobre um lugar. No final do século XIX, o meteorologista, Julius Hann define clima como “o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam a condição média da atmosfera sobre cada lugar da Terra” (HANN apud MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.15).

A definição de Hann, aceita pelos geógrafos durante muito tempo, apresenta uma enorme incompatibilidade com o tipo de estudo do clima capaz de revelar a realidade de forma mais concreta. É que embora recomende o estudo do conjunto de fenômenos em contato com a superfície terrestre, a concepção de Hann encara o clima como sendo uma média, transformando-o numa abstração. Portanto, a noção de tipos de tempo não cabe nesta proposta, que, além do mais, também não leva em conta o

desenrolar dos fenômenos no tempo cronológico, sendo, então, inadequada aos propósitos da Geografia. (BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.256)

Por outro lado, o geógrafo e climatologista, J.O. Ayoade vai estabelecer o seu conceito de clima, mais atrelado ao que estabelece a Organização Mundial de Meteorologia (OMM), como a “síntese do tempo num determinado lugar durante um período de 30-35 anos” (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007). Nesse sentido, percebe-se que o conceito de clima era um conceito muito pragmático/estático e insuficiente para registrar os fenômenos atmosféricos que ocorrem de forma episódica, cujos fenômenos impactam a produtividade econômica e o meio ambiente, e, com isso, foi necessário o conceito de clima evoluir e atrelar ao dinamismo da atmosfera (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Foi nesse contexto que o tratamento do clima, segundo uma cadência rítmica de sucessão de tipos de tempo, tornou-se evidente e necessário a uma abordagem genética dos tipos climáticos. assim, a conceituação apresentada por Max Sorre, pela sua abrangência, tem atendido a tais preocupações, pois concebe o clima como “a série dos estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual”. (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.15)

Destarte, as contribuições de Max Sorre para a Climatologia foram de suma importância, pois a partir delas vai ser possível analisar, com mais eficiência, os fenômenos atmosféricos que ocorrem de forma eventual. Nesse sentido, a climatologia “vai tratar dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta durante um longo período de tempo” (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.15).

(...) Esse conceito revela a ligação da climatologia com a abordagem geográfica do espaço terrestre, pois ela se caracteriza em um campo do conhecimento no qual as relações entre a sociedade e a natureza configuram-se como pressupostos básicos para a compreensão das diferentes paisagens do Planeta e contribui para uma intervenção mais consciente na organização do espaço. (MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.15)

Diante disso, Monteiro (1962 apud BARROS E ZAVATTINI, 2009) diz que a Ciência do Clima é dividida em duas vertentes: Climatologia Separativa e Climatologia Sintética. A primeira é influenciada pela Meteorologia Tradicional e tem como principal aporte teórico os conceitos de clima estabelecidos por Julius Hann, nessa área cada elemento do clima é analisado de forma isolada e, com base nas observações meteorológicas realizadas, calcularam-se médias que são utilizadas para a elaboração de cartas e gráficos.

De acordo com Barros e Zavattini (2009), esse método ao isolar cada elemento do clima e transformar em médias aritméticas, dissolve a realidade, que é constituída pelo conjunto de elementos atuantes, uns através dos outros. Além disso, outro problema, destacado pelos autores, é que esse método “refere-se aos valores extremos e aos menos ocasionais, que são

totalmente mascarados pelo uso das médias aritméticas, que colocam os elementos numa situação de uniformidade que, na verdade, não existe.” (BARROS e ZAVATTINI, 2009, p. 257).

Nesse sentido, o método analítico-separatista não analisa os elementos atuantes na atmosfera como um todo e para a Geografia ele apresenta lacunas, pois não é capaz de restituir o dinamismo aos fenômenos e suas verdadeiras sucessões de estados, o que impossibilita a compreensão fiel da realidade (BARROS e ZAVATTINI, 2009)

A Climatologia Sintética é o oposto do paradigma exposto acima, pois está vinculada à Meteorologia Dinâmica e analisa o complexo atmosférico em porções individualizadas de modo que considera os mecanismos atuantes que as causam e as suas consequências para a sociedade (BARROS e ZAVATTINI, 2009). Essa abordagem ainda é bastante predominante e um dos principais motivos e, também, conceitos científicos é a proposta climática de Sorre (1951), em especial, a do ritmo climático, tendo em vista a sua influência para diversos meteorologistas e climatólogos, entre eles vale destacar, Pédelaborde (1957;1970) e Monteiro (1962;1976).

Barros e Zavattini (2009) irão destacar em seu artigo a influência de Sorre (1951) nos trabalhos de Pédelaborde (1970), quando este vai propor o “método sintético das massas de ar e dos tipos de tempo” o qual cada tipo de tempo, dos elementos atmosféricos, deve ser analisado sem extraí-los do complexo atmosférico do qual fazem parte.

O mais importante no estudo da realidade climática é compreender a maneira como o complexo se manifesta, assim como o quadro que ele compõe e a ação fisiológica que ele exerce. Além disso, são também muito significativas as condições que determinam esse complexo: a origem da massa de ar, quanto tempo ela permaneceu sobre um determinado lugar, qual trajetória seguiu, quais propriedades físicas ela levou consigo e quais transformações ela sofreu antes de atingir o ponto de observação (PÉDELABORDE, 1970 apud BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.258).

Ademais, os autores analisaram, também, o trabalho de Pedelaborde (1957), que estava engajado pelos ideais de Sorre (1951), e ao estudar a Bacia Parisiense teve como principal resultado suas limitações metodológicas, pois “produziu apenas uma descrição sumária e sistemática, um catálogo de tipos de tempo” (ZAVATINI, 1998, p. 10 apud BARROS e ZAVATTINI, 2009, p. 258). Diante disso, os conceitos e ideias, para o estudo do clima, propostos por Max Sorre (1951) foram expressas da melhor forma pelo professor Carlos Augusto Figueiredo Monteiro (1962;1976).

Consciente de que para adotar o paradigma do ritmo climático seria necessário se apoiar na Meteorologia Dinâmica para poder formular seus princípios metodológicos que vão reger a

sua pesquisa climatológica, Monteiro vai da origem à “escola de climatologia geográfica brasileira” ao publicar, no ano de 1962, o artigo o “Da necessidade de um caráter genético à classificação climática (Algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil meridional)” (BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.258).

Nesse sentido, o autor para compreender o ritmo climático de um determinado lugar vai acreditar na exigência de analisar a dinâmica atmosférica, dando importância, para a definição climática regional (MONTEIRO, 1962), haja vista que antes do paradigma a circulação atmosférica regional era mensurada por valores médios que não consideravam o todo e isso isolava os elementos a serem analisados, não demonstrando a realidade da dinâmica atmosférica.

Destarte, Monteiro desenvolve uma técnica chamada de “análise rítmica” que consiste na representação do ritmo climático através de gráficos que são “longas faixas de representação diária concomitante de todos os atributos atmosféricos mensuráveis sobre um lugar, acompanhados da informação sobre o sistema meteorológico atuante em cada dia” (MONTEIRO, 1976, p. 30 apud BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.258). Nesse sentido, os gráficos diários possibilitaram a extração dos índices de participação das massas de ar e os aplica na classificação climática que passa a ter uma base genética.

A diferença entre a abordagem de Monteiro e aquela de Pédelaborde, refere-se a um paradigma presente na concepção de Sorre (1951). Enquanto para Pédelaborde (1970) o paradigma é “a totalidade dos tipos de tempo”, para Monteiro (1976, p. 30), trata-se do “ritmo”, quer dizer, do “encadeamento, sucessivo e contínuo, dos estados atmosféricos e suas articulações no sentido de retorno aos mesmos estados”, no que se conecta ao pensamento de Sorre (1951, p. 33), segundo o qual o ritmo “exprime não mais a distância quantitativa dos valores sucessivos, mas o retorno mais ou menos regular dos mesmos estados”. (BARROS e ZAVATTINI, 2009, p.258)

Diante disso, percebe-se que a análise rítmica é o melhor método para analisar o clima, em especial, na perspectiva geográfica, pois possibilita a representação das variações cronológicas dos elementos atmosféricos num dado espaço (ou lugar) e, também, enxergar as influências que a sociedade causa no clima (ao liberar ou armazenar mais GEE's, por exemplo) e o processo inverso - clima influenciando a sociedade (eventos climáticos extremos influenciando na produção agrícola e a população sentido os efeitos no dia a dia com o aumento dos preços dos alimentos, por exemplo).

Na prática da análise rítmica em climatologia é conveniente a utilização de anos-padrão (ou períodos-padrão), conforme propôs Monteiro (1973), pois são amostras verdadeiras dos diferentes tipos de tempo ocorridos sobre um dado local (ou região) e revelam os encadeamentos rítmicos que os diversos sistemas atmosféricos ali engendram. Como em nosso país as características climáticas predominantes são do tipo tropical ou subtropical, é compreensível que a chuva seja o elemento climático com melhor capacidade de traduzir as variações rítmicas presentes num dado ano, ou

as que se alternam de um ano para outro, seja ele um ano civil, agrícola, ou relativo a qualquer outra convenção periódica. Explica-se, assim, a preponderância de temas ligados à pluviosidade na maioria dos estudos de climatologia geográfica realizados no Brasil. Porém, como lembra Monteiro (1971), a fim de manter o caráter geográfico da análise, a caracterização de um ano-padrão (ou período-padrão) não pode estar presa somente às informações quantitativas (meros totais anuais ou mensais, por exemplo), devendo também considerar certos critérios qualitativos, especialmente aqueles ligados ao ritmo de sucessão dos estados atmosféricos ou, em outras palavras, à variação diária do tempo meteorológico num ponto da superfície terrestre. (BARROS e ZAVATTINI, 2009, p. 259)

Diante disso, Monteiro ao adotar o ritmo climático revoluciona a climatologia brasileira e abre margem para analisar o clima não só no campo quantitativo, mais, também, no qualitativo permitindo que os geógrafos enxerguem a influência das atividades antrópicas no clima e as influências do clima na sociedade. Portanto, entende-se que várias teorias e paradigmas influenciaram o desenvolvimento da climatologia e seu objeto de estudo, dentre elas a Teoria Geral dos Sistema foi a que causou mais impacto e o tópico seguinte vai detalhar mais sobre essa teoria e sua relação com a climatologia.

4.2 – Teoria Geral dos Sistemas (TGS) e a Relação com a Climatologia

Esta seção, detalha a origem e explicação do funcionamento da Teoria Geral dos Sistemas, sua importância para a ciência e influência na geografia, bem como sua relação com a climatologia e a teoria do Sistema Clima Urbano, de Monteiro (1975).

De acordo com Araújo (2019), a Teoria Geral dos Sistemas surgiu nos Estados Unidos, no ano de 1937, em um seminário de Filosofia da Universidade de Chicago, cujo idealizador é, o austríaco e biólogo, Ludwig Von Bertalanffy. Para esse pesquisador, o organismo vivo é um Sistema Aberto que se relaciona com o ambiente, essa ideia gerou uma revolução no campo das ciências sociais e comportamentais, tendo em vista que antes somente as ciências exatas analisavam os sistemas e eram fechados.

Segundo Bertalanffy (1968), a Teoria Geral do Sistema seria um instrumento útil capaz de fornecer modelos a serem utilizados em diferentes campos e transmitidos de uns para os outros, salvaguardando-os do perigo das analogias superficiais. A correspondência biunívoca que trata a teoria do sistema é muito mais que uma analogia, na medida em que possibilita poder ser aplicadas abstrações correspondentes e modelos conceituais a fenômenos de diferentes naturezas, residindo nesse fato o valor da Teoria Geral do Sistema. (VALE, 2012, p.90)

Nesse sentido, a Teoria Geral dos Sistemas vai querer abarcar e integralizar todas as ciências, tendo como base a Teoria dos Sistemas para alcançar uma teoria “exata” nos campos físicos da ciência e ao relacionar as particularidades de cada ciência, serão desenvolvidos princípios unificadores, que gera a diversidade ou multiplicidade da ciência que conduz a uma integração muito necessária na formação científica (VALE, 2012). Desse modo, entra-se em

concordância com Gomes, quando ele disserta sobre os princípios do sistema aberto, ao dizer que

Este sistema aberto se define pelo princípio da globalidade, em que mudanças em partes reorganizam o todo, pelo conceito da não somatividade, no qual o todo é completo e se reorganiza. Já a homeostase caracteriza o processo de autorregulação, que mantém o sistema estável, preservado e funcionando. A morfogênese, ao contrário da homeostase, se caracteriza pela resiliência dos sistemas abertos em absorver os fenômenos externos do meio e em mudar sua organização. Já o conceito de circularidade se caracteriza pela relação entre os elementos, a partir de uma sequência circular e não linear. Por fim, o conceito de equifinalidade, no qual o equilíbrio independe do estágio inicial, e diferentes condições iniciais geram igualdade de resultados e diferentes resultados podem ser gerados por diversas condições iniciais (GOMES et al., 2014, p. 8 apud ARAÚJO, 2019, p.27).

A partir disso, entende-se que a Teoria Geral do Sistema define “sistema como complexo de componentes em interação, conceitos característicos das totalidades organizadas tais como interação, soma, mecanização, centralização, competição, finalidade, etc., e aplica-o a fenômenos concretos” (VALE, 2012, p.91). Ademais, os Sistemas possuem entrada (input) e saída (output), de modo que a entrada seria a matéria ou elemento que alimenta esse sistema e passa por diversas transformações gerando uma saída, isto é, algo diferente do que foi entrado. A exemplo disso, tem-se o sistema climático do planeta que tem como entrada de energia a radiação solar e por meio dela vários processos ocorrem e influencia outros subsistemas climáticos, tem como saída o calor para o espaço.

Quando se decide qual será o sistema a ser estudado, definindo os seus elementos e as suas relações, é mais fácil delimitá-lo no espaço e no tempo, diferenciar suas unidades componentes, interligadas pelas relações internas e estabelecer os sistemas ambientais controlantes que atuam sobre o sistema escolhido através das relações externas. Nesse sentido, a identificação dos limiares é difícil de ser feita, mas não é impossível fazê-la. (VALE, 2012, p.93)

A partir da citação exposta acima, o Sistema a ser trabalhado será o Sistema Climático da Amazônia e o seu Subsistema que é do Clima Urbano da cidade de Belém. Mas antes, vale ressaltar a importância da abordagem sistêmica na Geografia Física cuja análise começa por meio do estudo da paisagem que tem a sua fisiologia com base na Biologia, pois é como se fosse um organismo, com funções vitais e com elementos que interagem (MORAES, 1983 apud VALE, 2012). Além disso, Troll (1950) é o pioneiro ao analisar, a categoria geográfica, com base na síntese físico-geográfica da ecologia da paisagem.

A nova abordagem integradora começou a ser discutida, inicialmente, no âmbito geográfico, por Carl Troll (1950), que introduziu a ideia das atuais sínteses físico-geográficas. Influenciada pelas concepções da ecologia, que estuda o sistema das relações entre os organismos e os fatores do meio ambiente, denominou-se, inicialmente, a síntese físicogeográfica de ecologia da paisagem e, posteriormente, geoecologia (TROLL, 1970 apud ARAÚJO, 2019, p. 32).

De acordo com Vale (2012), na Ecologia da Paisagem “a paisagem é a expressão espacial dos ecossistemas e um complexo, padrão ou mosaico de ecótopos, ou seja, um mosaico de ecossistemas concretos” (RODRIGUEZ: SILVA, 2002, p.97 apud VALE, 2012, p.96). Neste ínterim, Vale (2012) ressalta que a Ecologia da Paisagem foi de suma importância para a geografia, pois influenciou bastante a ciência e análise da Paisagem, além de estar presente nos textos de Humbolt, Ritter, Ratzel, Dokucháev e Voiéikov.

Para Chorley & Haggett (1974), o termo ecossistema foi formalmente proposto pelo ecologista britânico A. G. Tansley em 1935, como um termo geral tanto para *biomé* – todo o complexo de organismos (animais e vegetais) que vivem juntos naturalmente como unidade sociológica – e seu habitat. Segundo os autores, o conceito formulado por Tansley amplia efetivamente o espectro da própria Ecologia que não é mais puramente biológica, resgatando o uso do termo *microcosmo* de Forbes, formulado em 1887 no sentido de ecossistema. (VALE, 2012, p. 97)

Nesse contexto, o conceito de Ecossistema amplia a análise da Ecologia e a torna operacional para o estudo geográfico. A partir disso, observa-se as semelhanças entre a Geografia e a Ecologia, pois ambas tratam da distribuição e organização dos fenômenos sobre a superfície da terra. Além disso, Vale (2012, p.98) ressalta que

[...] Dentro da Geografia, o interesse conceitual da Ecologia ficou mais restrito aos biogeógrafos. Todavia, a influência dos conceitos biológicos ou ecológicos na Geografia foi mais profunda do que se pode supor. Vários termos e conceitos foram e ainda são utilizados de forma corrente, sobretudo em Biogeografia.

Destarte, a principal contribuição da Ecologia para a Geografia foi permitir que a ciência geográfica analise o meio ambiente de forma sistêmica, por meio do Ecossistema, e com isso, a geografia física se desenvolveu ainda mais e um dos ramos foi a Climatologia, que mudou seu paradigma de Separativa para Climatologia Dinâmica.

O segmento da climatologia, oriundo da meteorologia, foi marcado por uma vasta documentação estatística, trazendo o enfoque quantitativo para as análises geográficas. Os primeiros geógrafos que se dedicaram ao estudo do clima conseguiram caracterizá-lo por zonas e por regiões. Nas décadas de 1950 e de 1960, Strahler difunde a magnífica noção da dinâmica atmosférica, baseada nos movimentos das massas de ar. Tal concepção (climatologia dinâmica) provocou, desde o início, uma mudança teórica, metodológica e conceitual, no estudo da atmosfera. (ARAÚJO, 2019, p.31)

Portanto, a Teoria Geral dos Sistemas foi de suma importância para ciência de modo que influenciou diversas áreas do conhecimento e promoveu a mudança da análise separativa, para uma análise integradora que olhasse o todo. Na geografia, a abordagem sistêmica não foi diferente, desenvolveu a análise geográfica, principalmente a geografia física, provocando uma melhora significativa na análise dos problemas ambientais, na climatologia provocou a mudança do método separativo para o da análise rítmica do clima e contribuiu para entender as influências dos fenômenos atmosféricos de meso e macro escalas em climas locais e como o

desenvolvimento da comunidade urbana e outras atividades antrópicas influenciam esses fenômenos de macro e meso escala. Desse modo, o próximo tópico aborda sobre a relação do clima urbano com a teoria geral dos sistemas e se aprofunda no sistema clima urbano proposto pelo Prof.Dr. Carlos Augusto Figueiredo Monteiro.

4.3 Clima Urbano e sua relação com a TGS

Após a Segunda Guerra Mundial as cidades vivenciaram um expressivo aumento populacional e de mudanças de infraestruturas urbanas, o que ocasionou impactos no clima local e, com isso, o estudo do clima urbano começou a ganhar visibilidade tendo a obra “*The Climate of London*”, publicado no ano de 1961, de Tony John Chandler, como um marco pioneiro do estudo do clima urbano (RODRIGUES, 2017).

Segundo Escourrou (1991), as pesquisas sobre clima urbano nos Estados Unidos, tiveram a participação de Bornstein, Changnon, Clarke, e no Canadá, de Oke, onde as principais obras apontaram para o efeito da urbanização em ambiente de clima temperado. Posteriormente, as pesquisas se estenderam para outras zonas climáticas. No Brasil, os estudos sobre o assunto tiveram seus principais expoentes em Monteiro, Lombardo, Amorim. (RODRIGUES, 2017, p.31).

Nesse sentido, entende-se que o fenômeno urbano causa modificações no clima local devido a artificialização das paisagens, feitas pelas atividades antrópicas, entende-se que “o clima urbano é produto de um conjunto complexo constituído de inter-relações da atividade ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos” (HACK, 2002 apud RODRIGUES, 2017, p. 31). Além disso, Rodrigues (2017) diz que Lombardo (1985) “considera que o clima urbano é uma produção da ação ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos, constituindo um conjunto bastante complexo” e que Brazel e Quatrocchi (2004) relacionam o clima urbano com os impactos da mudança do uso da terra e retornos para a energia, umidade e sistemas de movimento do ar locais (RODRIGUES, 2017).

Para uma melhor compreensão, o conceito de clima urbano se constrói em uma relação de alterações e modificações dos elementos do clima observados entre o meio urbano e o meio rural, sustentados pelo conceito de clima que segundo Chandler (1976), é uma consequência da profunda alteração das propriedades meteorológicas do ar imediatamente acima das cidades. Essas alterações relacionam-se com as características térmicas da superfície, a circulação de ar e a poluição atmosférica. (RODRIGUES, 2017, p. 31)

De acordo com Amorim (2000), diversos autores ((Bryson 1972, Chandler 1965, Landsberg 1981, Lowry 1977, Monteiro 1976, Oke 1978 apud AMORIM, 2000, p.23) entendem a cidade como um fenômeno que modifica o clima regional e propicia condições para a atmosfera local formando, assim, o clima urbano. Segundo Monteiro, “o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização” (MONTEIRO, 1975, p. 116), pois os principais agentes modificadores do clima vai ser as construções da

infraestrutura urbana, os tipos de materiais, circulação de veículos, indústrias e atividades humanas de maneira geral (AMORIM, 2000).

O campo também sofreu transformações na paisagem no decorrer do tempo, mas é nas cidades que os efeitos do ar comprometido produzem alterações nos elementos climáticos de maneira mais intensa. Na perspectiva geográfica, além das diferenças existentes entre a cidade e o campo, toma-se fundamental a compreensão dos mecanismos geradores das diferenças que existem no interior da própria cidade, que interferem de maneira mais ou menos negativa na qualidade de vida das pessoas. (AMORIM, 2000, P.23)

Desse modo, de acordo com Amorim (2000) a urbanização altera o balanço de radiação da superfície tendo em vista que os materiais naturais foram substituídos pelos materiais urbanos e ao analisar pela perspectiva meteorológica conclui-se que o clima urbano já possui, um aprofundamento, de seus princípios fundamentais, sendo eles

- a) o clima urbano é modificação substancial de um clima local, não sendo possível ainda decidir sobre o ponto de concentração populacional ou densidade de edificações em que essa notável mudança principia;
- b) admite-se que o desenvolvimento urbano tende a acentuar ou eliminar as diferenças causadas pela posição do sítio;
- c) da comparação entre a cidade e o campo circundante, emergiram os seguintes fatos fundamentais: 1) a cidade modifica o clima através de alterações em superfície; 2) a cidade produz um aumento de calor, completada por modificações na ventilação, na umidade e até nas precipitações, que tendem a ser mais acentuadas; 3) a maior influência manifesta-se através da alteração na própria composição da atmosfera, atingindo condições adversas na maioria dos casos. (Landsberg apud Monteiro, 1976, p. 57)

Nesse sentido, as principais alterações que o clima local sofre frente ao processo de urbanização são sentidos pela população através do desconforto térmico, qualidade do ar, inundações mais frequentes, ocasionadas pelas chuvas concentradas, além desse clima ser produzido pela relação entre o ar atmosférico e o ambiente urbano, construído por meio das relações antrópicas, sendo que a cidade vai modificar balanço energético, o balanço hidrológico, o relevo e a estrutura química da atmosfera, o modo de viver do homem interfere de forma significativa no sistema urbano, recriando-o totalmente (AMORIM, 2000).

O processo de urbanização, ao proporcionar mudanças na natureza da superfície e na atmosfera, afeta as condições de funcionamento dos componentes do sistema climático, pois “perturba os balanços de energia, massa e momentum pre-urbanos e conduz para a modificação do estado de todos os parâmetros atmosféricos do qual o conjunto representa o clima” (Oke, 1980, p.339). (AMORIM, 2000, p.25)

Diante disso, o balanço de energia da cidade é alterado, principalmente, pela complexa “geometria das superfícies construídas, pelas propriedades térmicas dos materiais, pela orientação das edificações, impermeabilização do solo e calor liberado pelas diversas atividades humanas” (AMORIM, 2000, p.27). Segundo Amorim (2000,p.27), a impermeabilização do solo causa diversos problemas sendo eles

- a) redução da evaporação, pela ausência de vegetação e água disponível: a radiação solar que não é usada na evaporação aquece o espaço urbano (massa edificada) e o ar da cidade (Myrup, 1969, citado por Lombardo, 1985);
- b) as altas temperaturas que ocorrem nas áreas mais impermeabilizadas, em decorrência dos efeitos combinados das várias características do sítio construído, provocam baixa pressão atmosférica nestas áreas, gerando uma circulação local. Esta, por sua vez, provoca a concentração de material particulado na atmosfera local e de massas úmidas provenientes da região de entorno, gerando anomalias de precipitação sobre estas áreas (...);
- c) a ocorrência de inundações nestas áreas, pela presença ocasional de chuvas intensas (5 a 10% mais chuvas na área urbanizada que no meio rural). (Lombardo, 1995, p. 53-4 apud AMORIM, 2000,p.27).

Portanto, entende-se que o processo de urbanização altera bastante o clima local de uma cidade e as cidades quando foram planejadas não se atentaram as características desse clima e isso gerou a modificação dele e o surgimento ou intensificação de problemas ambientais começam a exigir um planejamento urbano que possa propiciar a adaptação dos processos urbanos ao clima urbano em vigência. Desse modo, a análise do clima urbano vai necessitar de uma abordagem sistêmica haja vista que facilita o entendimento sobre “ações humanas no comportamento do clima, sem que se percam de vista as escalas que o organizam. No sistema climático o clima global vai refletir-se nos subsistemas climáticos regionais e locais para filtrar, selecionar e conduzir a energia e a matéria” (AMORIM, 2000, p.34).

Os diversos autores clássicos (CHORLEY, 1962; CHANDLER, 1965; OKE,1979; LANDSBERG, 1981) que escreveram sobre clima urbano faziam uma abordagem na época, muito centrada em parâmetros meteorológicos e instrumentais. Os estudos abordavam cada elemento do clima da cidade em separado, exatamente, dentro dos valores médios. Entretanto, Monteiro (1976) considerava que esta visão quantitativa era muito limitada para acompanhar a dinâmica da vida humana e dos seres vivos em geral e não apresentava a relação natureza e sociedade, considerada o cerne da abordagem geográfica. (RODRIGUES, 2017, p. 39)

Para a geografia brasileira, em especial, a climatologia brasileira tem-se a utilização da Teoria Geral dos Sistemas pelo, ilustre professor, Carlos Augusto Figueiredo Monteiro, em sua tese de Livre-Docência de 1975, e diz que Bertrand (1968) ao tentar usar essa teoria, na geografia física global, propôs o conceito de geossistema para estabelecer um paralelo entre a unidade análise geográfica e o ecossistema (BERTRAND, 1968 apud MONTEIRO, 1975, p. 110). Além disso, o climatólogo diz que a outra vantagem da TGS é a possibilidade alternativa de usar tanto o método indutivo quanto o dedutivo, segundo Monteiro (1975, p. 110) [...] “é o próprio Bertalanffy que esclarece isso (op. cit. , pág. 133), quando demonstra que a abordagem que utilizou foi empírico-intuitiva, enquanto ASHY (1968) demonstrou que a abordagem sistêmica pode ser submetida a um tratamento dedutivo”.

Nesse sentido, Monteiro (1975) usa a Teoria Geral do Sistema como referência teórica para a análise do clima urbano, tendo em vista que ela vai ser capaz revelar a essência desse

fenômeno complexo, que é o urbano. Além disso, em seus critérios de escolha diz que de modo Pragmático a TGS é capaz de receber perguntas e emitir respostas; em seu dinamismo a TGS casa com a conceituação de clima sorreano e com a dinâmica do fenômeno urbano, seja por conta da sua dedução ou indução; para dar consistência na análise do clima urbano, tanto no Brasil como cidades mundo a fora, a TGS assegura, por conta, dos seus dotes de monismo, estruturação e funcionalidade; de modo empírico a TGS pressupõe margem à observação empírica tanto por via indutiva quanto por via hipotético-dedutiva; e para a análise do clima urbano é necessário tanto mapeamento quanto diagramação (modelismo) e a TGS, no contexto ideativo, pressupõe diagramas ou modelos (MONTEIRO, 1975).

Monteiro (1976) acreditava que era possível se fazer estudos de climatologia com caráter mais geográfico, diferenciando-se dos estudos meteorológicos. Então o autor passou a adotar um novo paradigma de análise climatológica que foi o ritmo e a sucessão dos tipos de tempo, em substituição à média climática. Estes conceitos iriam sustentar a teoria, o que o tornava apropriado para a Climatologia Geográfica (BARROS e ZAVATTINI, 2009 apud RODRIGUES, 2017, p. 40)

Destarte, ao usar essa teoria, Monteiro (1975) analisa o clima da cidade de modo que não descarta as alterações feitas pelos homens considerando se elas mudam ou não o clima local, sem contar que considera os fenômenos meteorológicos de macro e mesoescala. Além disso, a TGS não tem nenhuma norma de ordem de grandeza para que se construa um sistema. Desse modo, Monteiro chama a sua teoria de Sistema Clima Urbano e diz que “o espaço urbanizado, que se identifica a partir do sítio, constitui o núcleo do sistema que mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere” (MONTEIRO, 1975, p. 117).

Ou seja, devido à ampla escala dos fenômenos atmosféricos e da complexidade urbana a ideia de Espaço, no Sistema Clima Urbano, será analisada considerando-o como tridimensional (planos horizontais e verticais) haja vista que é nesse local onde age a atmosfera e o fenômeno urbano. Além disso, de acordo com Monteiro (1975, p. 118) “o sistema se projeta tanto em escala ascendente para um número infinito de integrações em sistemas superiores, quanto se fraciona, também infinitamente, em sistemas inferiores”, isto é, o próprio Sistema Clima Urbano está inserido em um Sistema Climático Regional e sub-regional (esses ligados a um Sistema Climático Global) em que as relações entre eles ocorrem de maneiras ininterruptas e de forma dinâmica e influência, também, dentro do Sistema Clima Urbano, quando este é subdividido em Microclimas, onde encontra-se variação de temperatura ou precipitação de um bairro para outro bairro, por exemplo. Além da própria dinâmica interna do S.C.U, a dinâmica urbana influencia os Sistemas Climáticos Superiores.

O S.C.U importa energia através do seu ambiente, é sede de uma sucessão de eventos que articulam diferenças de estados, mudanças e transformações internas, a ponto de

gerar produtos que se incorporam ao núcleo e/ou são exportados para o ambiente, configurando-se como um todo de organização complexa que se pode enquadrar na categoria dos sistemas abertos. (MONTEIRO, 1975, p. 118)

Destarte, o clima da cidade passa por transformações como o surgimento de ilhas de calor e a poluição do ar, isso evidencia que o S.C.U pode ser considerado como um sistema aberto. Ademais, Monteiro (1975) considera que a organização climática é centrada na atmosfera e está deve ser entendida como o operador do sistema e diz que “toda a ação ecológica natural e as associações ao fenômeno da urbanização constituem o conjunto complexo sobre o qual o operador age”, sendo assim, o homem e demais seres vivos tornam-se elementos do sistema, além dos fenômenos sociais e econômicos influenciam no aumento do dinamismo e complexidade desse sistema. Formando, assim, o conjunto complexo do sistema, que não é estático ou passivo.

Assim, por exemplo, aumentos de capitais e população da cidade não podem ser considerados fluxos de energia no S.C. U, mas, inegavelmente, os elementos internos do núcleo serão aumentados pelo volume do aglomerado humano, pelo número de edificações e viaturas decorrentes, refletindo-se na estrutura do S.C.U. (MONTEIRO, 1975, p. 119)

Desse modo, percebe-se que a energia que entra no Sistema Clima Urbano advém da atmosfera e envolve a cidade. No entanto, a comunidade social urbana transforma essa energia por meio das modificações das estruturas urbanas e, por conta disso, o Homem é o principal agente modelador desse sistema. Ademais, ainda sobre as energias que entram no S. C. U Monteiro diz que

As entradas de energia no S.C.U são de natureza térmica (oriundas da fonte primária de energia de toda a Terra - o Sol), implicando componentes dinâmicas inequívocas determinadas pela circulação atmosférica, e decisivas para a componente hídrica englobada nesse conjunto. (MONTEIRO, 1975, p. 120)

Nesse contexto, o autor aborda sobre o balanço de energia e, indiretamente, adota a primeira lei da termodinâmica onde a energia nunca é perdida, pois passa pelos processos de reflexão, absorção e armazenamento térmico, dependendo, do processo de uso e solo da terra e os tipos de materiais usados nas construções e processos de estrutura urbana. Além disso, Monteiro (1975) fala sobre “a avaliação dessa entrada de energia no S.C.U deve ser observada tanto em termos quantitativos como, especialmente, em relação ao seu modo de transmissão”, isto é, a alteração dos elementos do sistema (aumento da impermeabilização e verticalização, por exemplo) vai modificar a relação do tempo de ganho e perda dessa energia dentro do sistema.

Outra característica do Sistema Clima Urbano é que a sua estrutura interna só é revelada pela sua íntima e dinâmica interna provenientes da compartimentação ecológica, setorização morfológica ou funcional urbana (MONTEIRO, 1975). Ademais, Monteiro diz que

O conjunto-produto do S.C.U pressupõe vários elementos que caracterizam a participação urbana no desempenho do sistema. Sendo variada e heterogênea essa produção, faz-se mister uma simplificação classificadora que deve ser constituída através de canais de percepção humana. (MONTEIRO, 1975, p. 124)

Nesse sentido, o “conjunto-produto” do S.C.U assume formas como ilhas de calor, inundações, poluição, dentre outras, que merecem uma análise mais detalhada e, por conta disso, o Sistema Clima Urbano é subdividido em subsistemas termodinâmico, físico-químico e hidrodinâmico. Além disso, “a natureza urbana do S.C.U, implica em condições especiais de dinamismo interno consoante o processo evolutivo do crescimento e desenvolvimento urbano, uma vez que várias tendências ou expressões formais se sucedem ao longo do processo de urbanização” (MONTEIRO, 1975, p. 125), isto é, a relação entre cidade e clima - fator social e natural, respectivamente - está pautada na diversidade das variações geoecológicas de modo que cada cidade vai ter sua particularidade e estará em constante mudança, como um processo dinâmico (PIMENTEL, 2017).

O S.C. U é admitido como passível de auto-regulação, função essa conferida ao elemento homem urbano que, na medida em que o conhece e é capaz de detectar suas disfunções, pode, através do seu poder de decisão, intervir e adaptar o funcionamento do mesmo, recorrendo a dispositivos de reciclagem e/ou circuitos de retro-alimentação capazes de conduzir o seu desenvolvimento e crescimento seguindo metas preestabelecidas. (MONTEIRO, 1975, p. 126)

De acordo com o autor, o clima vai ser um sistema aberto, complexo e adaptativo, capaz de se autorregular, isto é, o homem como principal elemento do S.C.U pode realizar estratégias de planejamento urbano que amenizem as inferências climáticas indesejadas. Nesse sentido,

O clima urbano precisa ser considerado e consolidado como uma variável importante para o planejamento urbano, principalmente no contexto de possíveis mudanças climáticas, que poderiam repercutir em um aumento da temperatura do ar, precipitações mais concentradas, secas prolongadas, etc., o que poderia influenciar na dinâmica das cidades, no aumento do calor e consequente desconforto térmico, no aumento das enchentes urbanas e movimento de massa, em função da maior concentração da precipitação e alteração dos espaços urbanos (impermeabilização do solo, retirada da cobertura vegetal, etc.). Todas estas situações, já são vivenciadas e vem repercutindo em sucessivas perdas materiais e de vidas humanas pela população urbana na atualidade. (FERREIRA, 2014, p. 54 apud PIMENTEL, 2017, p. 33)

Diante disso, a teoria do Sistema Clima Urbano proposta por Monteiro (1975), vai contribuir com a necessidade de levantamento de dados e mapeamentos de edificações e das diferentes formas de uso e cobertura do solo, tornando-se um importante instrumento de cooperação do planejamento urbano, se as autoridades desejarem usá-lo. Por fim, e não menos importante, Monteiro define o S.C.U como um sistema aberto, com capacidade autorreguladora, e um sistema morfogenético, ou seja, possui equilíbrio homeostático que é a capacidade de se adaptarem, mantendo as condições estáveis e, ainda assim, se ajustam as

transformações ocorridas em seu ambiente (CHRISTOFOLETTI, 1999 apud PIMENTEL, 2017, p. 34).

Configurando-se, assim, como sistema morfogenético, o S.C.U, poderá gerar, continuamente, variedade de forma e comportamento por meio do seu dinamismo peculiar de interrelação com as partes que o constituem. Desse modo, poderá ser conduzido, galhardamente, contra as adversidades dos insumos atmosféricos (eventuais) e, especialmente, contra o acúmulo de produção nociva (constante e progressiva) da transformação interna. (MONTEIRO, 1975, p. 128)

Portanto, entende-se que o Sistema Climático Urbano é de suma importância, pois ajuda a entender o funcionamento do clima urbano e sua relação com a sociedade, propiciando a identificação de extremos climáticos e sendo um instrumento de suma importância para o planejamento urbano. Desse modo, analisar os eventos climáticos extremos torna-se importante para que as autoridades possam planejar proposta que amenizem seus impactos na sociedade e o estudo em questão é voltado para a cidade de Belém, mas, antes, faz-se necessário entender o sistema climático da Amazônia e os eventos climáticos extremos que ocorrem nela, pois eles influenciam no sistema climático urbano de Belém.

4.4 – Sistema Climático da Amazônia e sua relação com o Sistema Climático Urbano da Cidade de Belém

A região Amazônica está localizada na América do Sul, na faixa tropical, entre 5° N e 17°S, ocupa uma área de 6,3 milhões de km² e ocupa nove países, dentre os quais o Brasil está presente e detém a maior parte do território amazônico (cerca de 4,8 milhões de km²), nessa megafauna encontra-se o maior rio do mundo que é o Amazonas e sua relevância está na contribuição de 15% a 20% de água doce para o oceano, com significativas quantidades de nutrientes (OBREGÓN, 2013). Desse modo, segundo a classificação climática de Koppen a região Amazônica, em especial, da Amazônia Legal, apresenta um clima tropical chuvoso **A**, ou seja, no período de inverno as temperaturas ultrapassam os 18°C e tem como característica a intensa precipitação, sendo uma área sem estiagem e outras com 1 a 2 meses de seca e com 3 a 4 meses de seca, além dessa parte da Amazônia possuir uma pequena área com clima temperado chuvoso e moderadamente quente, sendo os meses com temperaturas amenas de - 3°C a 18°C e os meses mais quentes com temperaturas acima de 10°C e as precipitações ocorrem no período de verão (RODRIGUES, 2012).

No caso da região amazônica a topografia, a altitude baixa favorece a temperatura, entretanto a natureza do solo profundo e coberto pela vegetação da selva e a notável rede de rios, lagos e da influência do oceano atlântico, além da forte nebulosidade durante todo o ano, agem em sentido contrário, ou seja, temos dias quentes, mas que são amenizados pela quantidade de chuva que cai, ventos sopram do mar para o continente. (RODRIGUES, 2012, p. 27-28)

Outrossim, vale ressaltar a dinâmica das massas de ar que atuam na Amazônia e são elas, Massa de ar Equatorial Continental (mEc), Massa de ar Equatorial Atlântica (mEa) e a Massa de ar Polar (mP), sendo as duas primeiras com características de quente e úmida e são as que atuam mais predominantemente na região, já a terceira massa citada, atua mais nos estados de Acre, Rondônia e Mato Grosso, com características fria e seca, gerando um fenômeno chamado de friagem (RODRIGUES, 2012).

Além disso, a região apresenta-se como importante peça para o Sistema Climático da Terra tendo em vista que o seu balanço de energia, proveniente dos raios solares, é de fundamental importância para atmosfera global, pois “o processo se inicia mediante a evaporação do vapor de água à superfície e liberação de calor na média e alta troposfera através do calor latente de condensação das nuvens convectivas tropicais” (BETTS, 1990; NOBRE et al., 2011 apud OBREGÓN, 2013, p.336), além de parte desse vapor de água se transformar em chuva nas áreas mais quentes e a outra parte é transportada pela circulação de grande escala na média e alta troposfera, para outras regiões, onde se esfria, emitindo radiação de onda longa (OBREGÓN, 2013).

Intensa precipitação e temperatura quase constante decorrente das elevadas taxas de radiação recebidas ao longo do ano fazem dessa região a maior floresta tropical úmida (Sioli, 1984). Esse ambiente é propício ao desenvolvimento de uma vasta diversidade de ecossistemas, gerando uma produtividade primária líquida de aproximadamente 10% de toda a produzida pela biosfera terrestre (OBREGÓN, 2013, p.336)

Desse modo, vale ressaltar que a região amazônica apresenta apenas duas estações do ano que é o verão e o inverno, porém acostumou-se, no imaginário das pessoas, em especial, dos amazônidas, que o inverno é definido quando a região está marcada pela constante presença de chuvas e o verão quando se tem pouca presença, além de que quando é inverno, é verão no resto do hemisfério sul e quando é verão, é inverno. No entanto, isso está sendo disseminado de forma inequívoca, pois quando é “inverno” na Amazônia, é verão, assim como no resto do hemisfério sul, pois, a radiação solar é bem maior, gerando o aquecimento da floresta e de sua bacia hidrográfica, provocando a intensidade na evapotranspiração e propiciando uma quantidade maior de chuva para a região, dessa maneira quando é “verão”, vai ser inverno, pois ocorre o processo inverso tendo em vista que a radiação solar diminui e, conseqüentemente, vai diminuir, também, o processo de evapotranspiração e as chuvas na região (RODRIGUES, 2012).

Nesse contexto, a radiação solar é de suma importância para a Amazônia, haja vista sua influência no tempo, clima e desenvolvimento biológico, pois regula todos os processos biológicos. Desse modo, apesar de serem os itens mais inconstantes, desse sistema, as nuvens

se tornam importantes, pois a sua função é de refletir a radiação solar e absorver a radiação terrestre. Além disso, “As nuvens convectivas exibem forte ciclo anual, caracterizando áreas de convecção profunda, precipitação intensa e divergência das correntes atmosféricas em altos níveis, com valores mínimos durante a estação seca, de maio a setembro” (LIEBMANN et al., 1998; HOREL et al., 1989 apud OREGÓN, 2013, p. 338).

A maior parte da variabilidade temporal sazonal e interanual da radiação solar incidente sobre a Amazônia é controlada pela nebulosidade associada à intensa convecção local (Horel et al., 1989). No topo da atmosfera sobre essa região, o fluxo de radiação solar varia entre um máximo de 425 Wm^{-2} nos meses de dezembro e janeiro a um mínimo de 350 Wm^{-2} em junho e julho (Salati; Marques, 1984), enquanto, na superfície, a radiação solar incidente está entre 180 Wm^{-2} e 210 Wm^{-2} . Esses altos valores de radiação solar incidente também ocasionam o predomínio do ciclo anual da temperatura média mensal do ar sobre a maior parte da Amazônia, com amplitudes anuais na ordem de 1°C a 2°C e valores médios entre 24°C e 2°C , com exceção da parte sul da Amazônia (Williams; Satori, 2004). Ao sul, a amplitude do ciclo anual da temperatura é mais pronunciada – em torno de 3°C a 4°C – por causa da atuação das frentes frias (friagens) que penetram das latitudes extratropicais, além da maior amplitude sazonal da forçante solar ao se afastar do equador. (OREGÓN, 2013, p.337-338)

Nesse sentido, a alta troposfera vai esquentar, por conta da liberação de calor latente pela alta precipitação na Amazônia, e como resposta um fenômeno meteorológico entrará em cena que é denominado de Alta Bolívia, sendo uma circulação anticiclônica que está, inicialmente, associada ao intenso calor sensível dos Andes centrais e liberação de calor latente da convecção sobre o altiplano da Bolívia, é um aspecto característico da circulação em altos níveis sobre a América do Sul tropical durante o verão (SCHWERDTFEGGER, 1961; GUTMAN; SCHWERDTFEGGER, 1965; LENTERS; COOK, 1997 apud OREGÓN, 2013, p.338).

Outra característica da circulação na América do Sul tropical é a presença de episódios intensos de jatos em baixos níveis, com fortes ventos zonais, no leste dos Andes (Vera et al., 2006a), que se estendem desde o sudoeste da Amazônia até o sudeste da América do Sul, entre 25°S e 40°S (Marengo et al., 338 2011). Esses jatos são produzidos pelo bloqueio mecânico do fluxo que atravessa os Andes, gerando gradientes de pressão muito fortes na parte leste dos Andes e fluxo meridional em baixos níveis (Wang; Fu, 2004). Esse sistema de circulação é um dos fatores principais do clima continental, transportando considerável umidade da Amazônia para a bacia do rio de La Plata (Paegle et al., 1987). (OREGÓN, 2013, p.339)

Diante disso, faz-se necessário entender os principais sistemas meteorológicos atuantes na região os quais vão influenciar no clima e na sua variabilidade climática, desse modo os processos físicos, químicos e biológicos são induzidos por diversos fatores locais e remotos: por estar situada na faixa do equador a Amazônia recebe enormes quantidades de radiação solar, sem falar que sofre influência do atlântico tropical e subtropical, do pacífico tropical, bem como os padrões de circulação de grande escala localizada nesses oceanos e da cordilheira dos andes (OBREGÓN, 2013).

Destarte, a região amazônica apresenta um clima tropical chuvoso, sem estação fria, e com temperatura média de menos quente acima dos 18°C (EMBRAPA, 1982), “a variação temporal e espacial da atividade convectiva tropical e da precipitação” (MARENGO et al. 2001; SOUZA et al. 2009; apud SANTOS, 2017, p. 16), é o fenômeno mais importante do clima na região. Além disso, segundo Pereira e Szlafsztein (2015), o clima da região é influenciado pela relações termodinâmicas de macro escala como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); Alta da Bolívia; El Niño; La Niña; Temperaturas de Superfície do Mar (TSM); Linhas de Instabilidade; e sistemas frontais conhecidos como “friagens” (REBOITA et al., 2012 apud PEREIRA e SZLAFSZTEIN, 2015, p.75). Neste ínterim, a precipitação ocorre, geralmente, no verão do hemisfério sul é relacionada

[...] A alta complexidade destas interações termodinâmicas mantém incertezas significativas quanto à variabilidade (frequência e intensidade) das precipitações em escalas temporais e espaciais. No entanto, pouco mais de 50% da variância interanual climática na Amazônia é explicada pela variabilidade combinada ou isolada da TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais (NOBRE et al., 2009), capazes de alterar a circulação geral da atmosfera e originar variações extremas de diversos parâmetros meteorológicos e hídricos, provocando a ocorrência de fenômenos ameaçadores de desastres naturais. (PEREIRA e SZLAFSZTEIN, 2015, p. 75)

Apesar de ter diversos fenômenos de meso e micro escalas, influenciando o clima da região, o que vai influenciar mais a ocorrência de chuvas, em especial no período chuvoso, vai ser a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), tendo em vista que isso gera a convergência de ventos alísios do nordeste e sudeste, caracterizando intensas precipitações e ventos fracos (VIANELLO e ALVES, 1991 apud SANTOS, 2017, p. 16).

Diante disso, Bastos et al (1993) vai dizer que as chuvas são de suma importância para a região, pois “exercem um grande papel ecológico, influenciando em todos os estágios de desenvolvimento das plantas, bem como nos processos de fotossíntese e na produção vegetal” (BASTOS et al, 1993, apud SANTOS, 2017, p. 16).

Isto evidencia a importância de estudos que reconhecem a precipitação como a variável climatológica mais importante na região tropical, tornando-se essencial para o planejamento das atividades humanas e no desenvolvimento das atividades agropecuárias (PARÁ, 2015 apud SANTOS, 2017, p.16)

Ademais, o estado do Pará, situa-se na parte oriental da Amazônia, e, também, apresenta altos índices de precipitação e isso ocorre não só pelo fato de estar localizado na zona tropical do globo terrestre, mas, também, por conta das influências climáticas advindas de fenômenos oceano-atmosfera, “como a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), El Niño Oscilação Sul (ENOS), e outros que contribuem para o quantitativo de precipitação” (CAMPONOGARA, 2011; MOURA, 2014; apud SANTOS, 2017, p. 17).

Durante a fase quente do ENOS, são observadas anomalias negativas de precipitação na América do Sul tropical. Essa diminuição é dinamicamente consistente com o desenvolvimento da posição anômala e direção da célula de Hadley sobre a região equatorial, que mostra a existência de um efeito muito intenso de retroalimentação positiva entre a precipitação tropical e a circulação de Hadley. Além disso, a diminuição da precipitação na América do Sul tropical durante a fase quente do ENOS está associada a anomalias negativas da umidade do solo em escalas interanuais (Nepstad et al., 1999; Poveda et al., 2001). Características climáticas da Amazônia, complementares a este anexo são descritas em Nobre et al. (2011). (OREGÓN, 2013, p. 341)

Diante disso, quando o ENOS ocorre, sendo este o El Niño, as chuvas, por mais que tenham diminuído, elas ainda ocorrem no estado do Pará, por conta dos fenômenos de mesoescala, linhas de instabilidade e brisas marítimas. Além disso, vale destacar que a temperatura, também, aumenta e isso gera chuvas na região, por conta da evapotranspiração. Desse modo, o sistema climático da Amazônia e do Pará se relaciona com o clima urbano da cidade de Belém e isso faz com que o sistema climático da cidade sinta os impactos das mudanças climáticas, mesmo que em escala pequenas, tendo em vista que os sistemas climáticos estão conectados entre si.

Portanto, vale ressaltar que Belém é a segunda cidade mais populosa da região norte, perdendo apenas para Manaus, e com o novo censo do IBGE possui uma população de 1.303.389 habitantes, o que representa uma queda se comparado com o censo de 2010, isso se deve ao fato da cidade ser sede da Região Metropolitana de Belém e as cidades ao entorno tiveram um aumento populacional. Ademais, de acordo com Luz *et al* (2016) “Belém é uma cidade erguida sobre um solo de aluvião; em áreas de baixa altitude é considerada tecnicamente uma cidade fluviátil”

A geomorfologia do sítio urbano de Belém pode ser classificada em quatro níveis de superfícies diferenciadas de acordo com Penteado (1968); Furtado (1980) e Rocha (1987): a) Tabuleiros (Terras Firmes) – o primeiro nível corresponde aos tabuleiros continentais que apresentam altitudes superiores a 15m, formando plataformas interfluviais ou divisores d’água que separam as bacias que drenam para oeste (baía do Guajará) e para o Sul (rio Guamá); b) Terraços Intermediários – o segundo nível corresponde a terraços com altitudes de 10 a 15m, esses terraços ou tesos são correlacionáveis aos níveis marajoara e santareno; c) Terraços Intermediários – o terceiro nível apresenta terraços com altitudes de 5 a 10m; d) Planície de Inundação – o quarto nível é formado por planícies de várzea das bacias hidrográficas que estão abaixo da altitude de 5m. (LUZ, *et al*, 2016, p. 7)

Outrossim, a área de estudo (Figura 1) está localizada na porção noroeste do estado do Pará, na região norte do Brasil, conforme ilustrado na Figura 1. Ademais, Belém é a capital do estado do Pará e destaca-se como uma metrópole regional, conforme classificação do IBGE de 2007, devido à sua relevância na estrutura urbana e na prestação de serviços, tais como comércio, serviços bancários, instituições hospitalares (referência para o estado) e instituições de ensino superior.

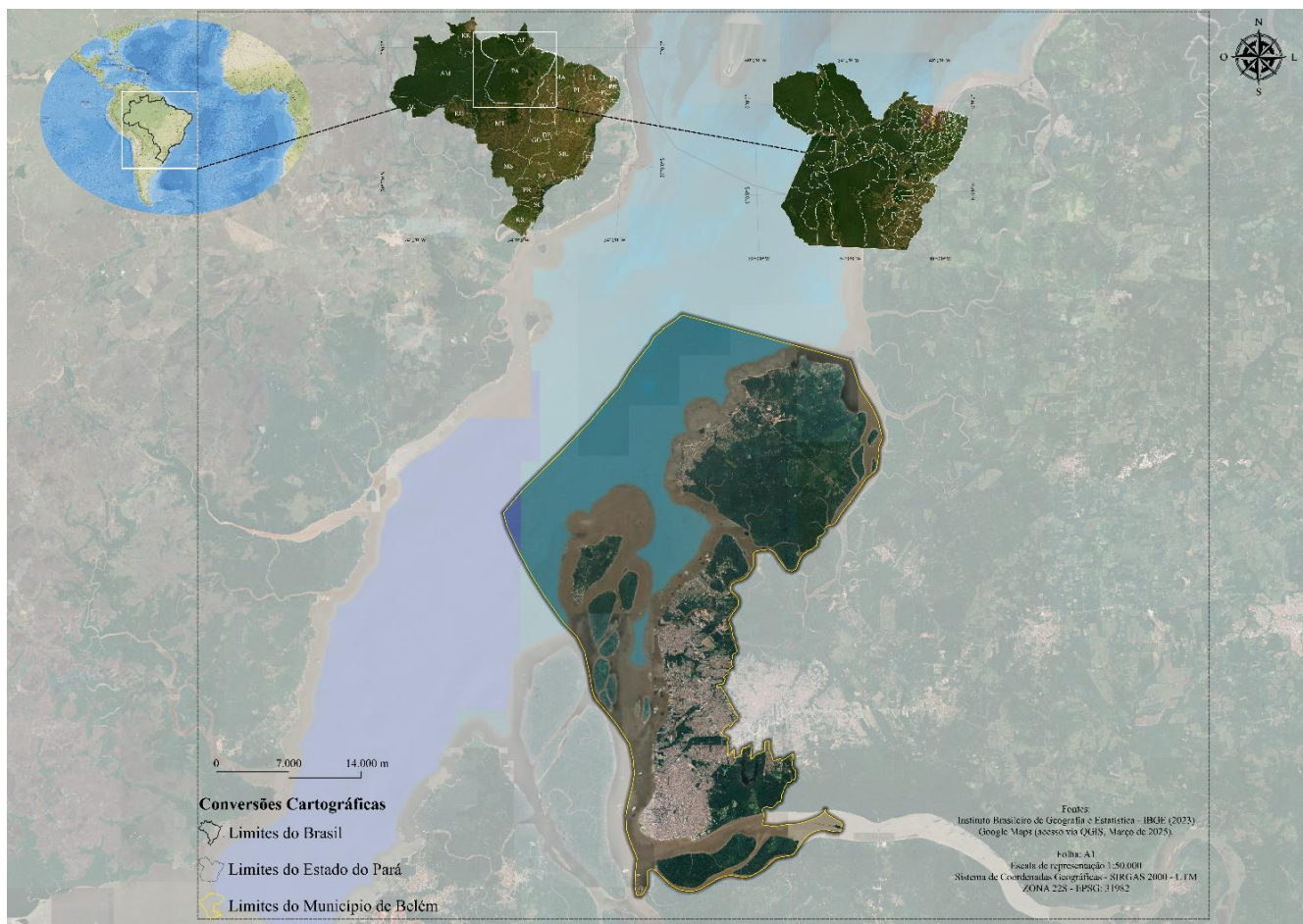


Figura 1 – Mapa de localização do Município de Belém-Pa. Fonte: elaborado pelo autor (2024), com base nos dados do IBGE 2022.

Nesse sentido, a cidade de Belém apresenta um clima tropical úmido e de acordo com a classificação climática de Köppen possui uma tipologia climática AF, o que caracteriza um clima equatorial chuvoso, tendo um alto índice precipitação acumulada ao longo do ano (DIAS, VALENTE E FERNANDES, 2020, p.5). Além dos fenômenos de mesoescala, Santos (2017, p.25) vai dizer que isso ocorre, por conta, das “microlinhas de instabilidades, associadas à presença de linhas de instabilidades e a circulação da brisa fluvial, devido a sua proximidade com Baía do Marajó”. Esses fenômenos atuam no clima urbano de Belém, quando os outros grandes precipitantes não estão atuando de forma efetiva.

Segundo Matos et al. 2016, as microlinhas são classificadas em Microlinhas de Instabilidade Fluvial (MLF) e Microlinhas de Instabilidades Marítima (MLM), aferindo que precipitação na mesorregião metropolitana de Belém tem interferência das brisas fluviais, advindas da baía do Marajó e das brisas marinhas, advindas do oceano atlântico (MATOS et a. 2016, SANTOS, 2017, p.25)

Devido a isso, a superabundância da precipitação, relacionado com outros fatores do meio biofísico, pode ocasionar enchentes, escorregamentos de barreiras, alagamentos e quando tem carência pode resultar em secas, assoreamento dos rios, entre outros fatores, que afetem os

setores da economia, sociedade e meio ambiente (SOUZA et al. 2012, apud SANTOS, 2017, p. 17). Destarte, Zanella (et al, 2009) dizem que

Os fenômenos naturais relacionados ao clima, principalmente quando se apresentam como eventos extremos, geram nas sociedades inúmeras implicações, muitas das quais de caráter catastrófico e/ou desastres naturais, que repercutem negativamente na qualidade de vida das populações (ZANELLA et al. 2009 apud SANTOS, 2017, p.17)

Além disso, segundo Ayoade (1996, p.161-162) existem três tipos de precipitação - convectiva, ciclônica e orográfica- nesse trabalho vai ser aprofundado o conceito de precipitação convectiva, pois é esse tipo de chuva que ocorre na cidade de Belém (EMBRAPA, 2002, p. 14). Em suma, esse tipo de precipitação está atrelado às nuvens do tipo cumulus e cumulonimbus, sendo causada pelo movimento vertical de uma massa de ar ascendente, que é mais quente do que o meio ambiente.

Apesar de ser mais curta que os outros tipos de precipitações, é mais intensa e sempre vem acompanhada de trovões. Além de possuir três subcategorias: Aguaceiros convectivos dispersos, Aguaceiros convectivos organizados e nuvens cumulonimbus organizadas em torno do vórtice de ciclones tropicais (AYOADE, 1996).

Segundo a Embrapa (2002), o clima de Belém é caracterizado por três períodos: dezembro a maio, período mais chuvoso, e tem como principal elemento influenciador a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os efeitos de mesoescala; junho a agosto, final do período chuvoso, as chuvas são provocadas por efeitos locais, como as brisas terrestres e marítimas e por Ondas de Este, vindas nas correntes dos ventos alísios, geralmente os do sudeste; setembro a novembro, período de estiagem, a precipitação geralmente é provocada pelos fenômenos de mesoescala (EMBRAPA, 2002).

Além disso, outra particularidade do clima de Belém é de apresentar temperaturas sempre altas, sendo suas máximas diárias acima dos 30° e mínimas acima dos 23°, com fortes convecções, tendo uma umidade do ar alta o que favorece a formação de nuvens convectivas, além de se ter o fato da cidade está situada na linha do equador, a energia recebida do sol é elevada, o que explica as altas temperaturas, grande parte dessa energia é convertida em calor latente de evaporação e outra parte em calor sensível que é destinado ao aquecimento do ar (EMBRAPA, 2002)

[...] A forte convecção, a instabilidade e a alta umidade do ar favorecem a formação de nuvens convectivas, dando origem a uma grande incidência de precipitação na forma de pancadas, principalmente à tarde, situação característica de regime de chuva do tipo continental (Nechet, 1997). Segundo esse autor, a frequente formação de nuvens do tipo cumulonimbus sobre Belém, favorece a ocorrência de vários tipos de trovoadas, cuja média anual está em torno de 165 dias. Esse tipo de fenômeno é

produzido por nuvens cumulonimbus e se manifesta com descargas elétricas, chuvas intensas e ventos muito fortes e, em algumas situações, a trovoada pode evoluir até o nível de tornado [...]. (EMBRAPA, 2002, p. 14-15)

O Climograma abaixo (figura 2), foi elaborado a partir das médias mensais das temperaturas máximas e mínimas, além da média mensal da precipitação, dos anos de 1961-2023, tendo como base a estação convencional do Inmet. Desse modo, por meio dele podemos determinar que os meses de dezembro a maio são os mais chuvosos e com temperaturas mais amenas, de junho a agosto é o período de transição tendo chuvas regulares abaixo dos 200 mm e temperaturas altas, de setembro a novembro é o período mais quente e de poucas chuvas, sendo elas ocasionadas, na maioria das vezes, pelo calor latente e sensível que promove a formação de nuvens convectivas e precipitações convectivas.

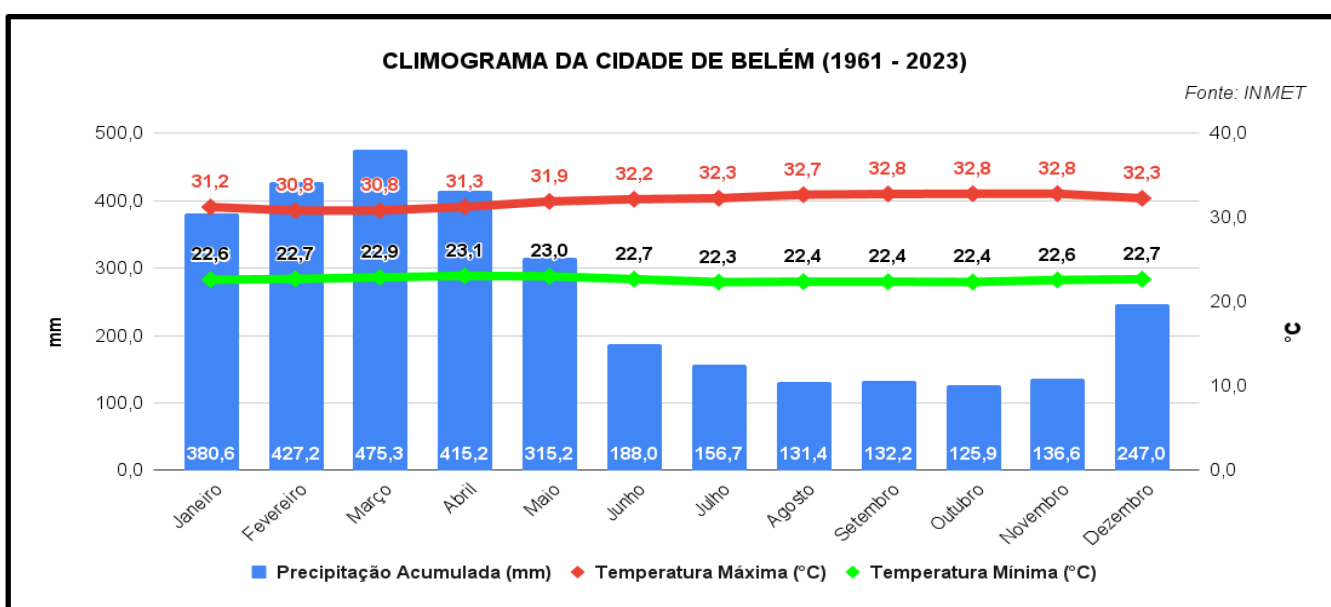


Figura 2 – Climograma da Cidade de Belém (1961-2023). Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base de dados do INMET

Diante disso, percebe-se que o índice de precipitação é o que mais impacta os belenenses, tendo em vista que a falta de saneamento básico, coleta irregular de resíduos sólidos e ocupação de população mais carente em áreas de risco fazem com que as inundações se tornem um problema crônico e, agora, com as mudanças climáticas, fazem elas se tornarem mais severas. No entanto, as temperaturas altas, também, impactam a vida dos cidadãos, pois elas, também, fazem com que a população sofra com doenças respiratórias e câncer de pele. Diante disso, faz-se necessário estudar os eventos climáticos extremos na cidade de Belém, pois com a identificação as autoridades poderão se preparar para planejar a cidade de modo que consigam amenizar os impactos para os belenenses. Mas, antes, é de suma importância conceituar e aprofundar a discussão dos eventos climáticos extremos e suas diferenças em

relação a outros termos como o de desastres naturais e tendência climática, o próximo tópico vai tratar sobre isso.

4.5 Eventos Climáticos Extremos uma Abordagem Conceitual

De acordo com Brasil (2016), a partir da década de 1990, o IPCC alerta sobre o aumento da frequência dos extremos de temperatura e precipitação no planeta, tanto os que ocorrem no presente quanto no futuro (IPCC, 2001, 2007, 2013 apud Brasil, 2016, p.329-330). Nesse sentido, os Eventos Extremos são fenômenos naturais que ocorrem no funcionamento do sistema climático da atmosfera terrestre, porém de acordo com a Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos – *National Academy of Sciences* (NAS) - esses eventos têm mudado a sua frequência, intensidade e duração nas últimas décadas (UMMENHOFER e MEEHL, 2017).

Apesar das flutuações do clima que alteram naturalmente a frequência desses eventos em certos períodos, já é constatado como fato que atividades antrópicas (como a emissão de gases de efeito estufa GEEs e as mudanças do uso da terra) corroboram na intensificação de alguns fenômenos climáticos, como secas, tornados, enchentes, vendavais, e na alteração da circulação de massas de ar em larga e mesoescala (HANSEN et al. 2010). Em concordância com as projeções dos últimos cenários pessimistas (cenário RCP 8.5) do relatório AR5 do IPCC (2013), algumas regiões do globo já demonstram sinais de mudanças com episódios frequentes de estiagens, eventos de precipitações severas e temperaturas extremas ocorrendo com maior frequência e magnitude. (BRASIL, 2016, p. 330)

Outrossim, é que esse fenômeno é caracterizado pelos valores destoantes de um estado climático em que as escalas temporais variam de dias a milênios sendo que os mais importantes são os que acontecem a curto e a médio prazo, pois tem impacto direto nas atividades humanas (MARENGO, 2009a apud BRASIL, 2016, p. 323).

Os eventos extremos de tempo e clima são também um aspecto integral da variabilidade climática, e sua frequência e intensidade podem variar de acordo com a mudança climática (MARENGO et al., 2009a), seja ela natural (como El Niño e La Niña) ou induzida pelas ações antrópicas. Ao se deslocarem para locais onde há qualquer tipo de atividade humana, esses eventos criam uma condição de perigo/ameaça (inundações, deslizamentos de terra, entre outros). Dependendo das vulnerabilidades existentes, esses eventos podem impactar sistemas humanos ocasionando desastres naturais. Dessa forma, a ocorrência de desastres suscita e expõe a vulnerabilidade das populações, alterando o funcionamento das comunidades e o bem-estar social (BRASIL, 1999abc; VEYRET, 2013 apud BRASIL, 2016, p. 323).

Além disso, percebeu-se que os eventos extremos diários de temperatura e precipitação aumentaram em frequência e intensidade, cuja relação está associada às mudanças climáticas provocadas pelos seres humanos, como indica os estudos de BINDOFF et al (2013), ZWIERS et al (2013) e Stott (2016) (UMMENHOFER e MEEHL, 2017, p.1).

There has also been substantial progress made recently in assessing ECEs according to the latest Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) assessment report 5 (AR5), compared with the previous AR4 report. Recent advances in the understanding

of ECEs, both in observations and their representation in state-of-the-art climate model simulations, open new opportunities for assessing the effect of ECEs on human and natural systems at relevant scales. In particular, improved spatial resolution in global climate models combined with advances in statistical and dynamical downscaling (e.g. regional model configurations) now provide climatic information at the appropriate spatial and temporal scales: with these, it is possible to develop a mechanistic understanding of how ECEs in the physical climate system affect biological processes, ecosystem functioning and adaptation capabilities. (UMMENHOFER e MEEHL, 2017, p.2)

Desse modo, entende-se a relevância de estudar e entender, a ocorrência, desses fenômenos extremos haja vista que impactam a vida da população, geralmente, surpreendendo a grande maioria, em especial, quando ocorre precipitações intensas e ondas de calor extremas. Diante disso, a *National Academy of Sciences* (NAS) define em seu relatório, evento extremo como sendo

Um evento climático ou meteorológico que é raro em um lugar específico (e, às vezes, época do ano), incluindo, por exemplo, ondas de calor, ondas de frio, chuvas pesadas, períodos de seca e inundação e tempestades severas. As definições de raro variam, mas um evento climático extremo normalmente seria tão raro quanto ou mais raro do que um determinado percentil de uma função de densidade de probabilidade estimada a partir de observações expressas como desvios de médias diárias ou mensais (NAS, 2016, p. 18; Tradução feita pelo autor)

Nesse sentido, essa definição vai de acordo com o que foi estabelecido pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), ao dizer que o “evento climático extremo é um acontecimento fora do padrão habitual” (OMM apud MAIA, 2024). Além disso, a organização, também, estabelece que os eventos extremos são fenômenos que superam a normal climatológica de modo que ultrapassam a variação natural de chuvas, temperaturas e entre outros (SANT'ANNA NETO apud MAIA, 2024). Além disso, de acordo com Stott et al (2015) os extremos climáticos são

(...) "episódios discretos de condições climáticas extremas ou incomuns, frequentemente associados a impactos deletérios na sociedade ou em sistemas naturais, definidos usando alguma métrica para caracterizar as características meteorológicas do evento ou os impactos consequentes" (STOTT et al, 2013 apud STOTT et al, 2015). Os eventos podem ocorrer em uma ampla gama de escalas de tempo, de minutos a estações ou mais, e em uma ampla gama de escalas espaciais, de alguns quilômetros ao tamanho de continentes. Portanto, a atribuição pode ser aplicada a um extremo que poderia ser classificado como um extremo climático, como um total de precipitação diária muito alto, ou um extremo que poderia ser classificado como um extremo relacionado ao clima, como uma temperatura média sazonal muito alta. (STOTT et al, 2015, p. 24. Tradução feita pelo próprio autor)

Ademais, o IPCC define esse fenômeno como um “evento que é raro em um lugar e tempo particular do ano, normalmente tão ou mais raro quanto o percentil de 10% e 90%” (IPCC, 2013 apud LIMA e CARPENEDO, 2020, p. 159). Nesse sentido, eventos de consistência extrema como secas/inundações, ondas de calor e precipitações intensas tornam-se relevantes para a sociedade devido ao impacto negativo que causam na população,

aumentando a morbidade e mortalidade (MARENGO, 2009 apud LIMA e CARPENEDO, 2020, p.159).

No Brasil, ao se analisar o histórico de ocorrência de eventos climáticos extremos, observou-se que nos últimos 30 anos tem aumentado a frequência de chuvas fortes no verão e no inverno do Sul e do Sudeste. Também, nesse período, ocorreram as grandes secas históricas experimentadas pela Amazônia em 2005 e 2010 e, na mesma região, as enchentes de 2009, 2012 e 2014. No Nordeste, uma seca em 2012 que já entrou em 2015 e, no Sudeste, temos a grande seca de 2014-15, a pior dos últimos 80 anos, vem afetando a segurança hídrica e energética de São Paulo e Rio de Janeiro e gerando restrições de água para a população da região metropolitana de São Paulo. Segundo a Organização Meteorológica Mundial, no Brasil, o Sudeste registrou no ano passado temperaturas de 1°C a 2°C superior à média entre os anos 1961 e 1990. Como esses extremos são associados à variabilidade natural do clima, existem evidências, porém ainda fracas, de que eles seriam mais intensos e frequentes num futuro clima mais quente. (MARENGO, 2014, p. 27)

A partir da citação acima, percebe-se que os extremos climáticos já estão ocorrendo no Brasil, principalmente, associados à níveis de Desastres Naturais como os que ocorreram, recentemente, no litoral de São Paulo e a pior seca histórica que ocorreu na Amazônia, em 2023, afetando o rio Madeira e o rio Amazonas, na cidade de Porto Velho e Manaus, respectivamente.

No Brasil, os desastres que mais causam prejuízos estão relacionados aos eventos climáticos extremos (ECEs) de ordem hidrometeorológica. Esse fato se dá pelo território localizar-se em áreas tropicais de clima quente, propícias aos grandes acumulados de precipitação durante a estação chuvosa (verões austrais), e ao grande potencial de evapotranspiração relacionado às altas temperaturas e ao déficit pluviométrico de suas regiões semiáridas (MARENGO, 2007 apud BRASIL, 2016, p.324).

Desse modo, os eventos extremos climáticos já estão afetando diretamente as cidades e a população mais vulnerável é a que mais sofre, como foi a situação da população ribeirinha na Amazônia. No entanto, é comum achar que desastres naturais e eventos climáticos extremos são a mesma coisa, porém são fenômenos diferentes e muitos eventos climáticos extremos ocorrem nas cidades sem serem desastres naturais, como os que ocorrem em Belém.

Nesse contexto, vale ressaltar a diferença entre desastres naturais e eventos climáticos extremos, e a principal diferença vem da definição de ambos os termos, o primeiro está associado à perda e prejuízo, como aponta Kobiyama et al (2006, p. 7) “quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (sócio-econômico)” são definidos como desastres naturais. Além disso,

Os desastres são normalmente súbitos e inesperados, de uma gravidade e magnitude capaz de produzir danos e prejuízos diversos, resultando em mortos e feridos. Portanto, exigem ações preventivas e restituidoras, que envolvem diversos setores governamentais e privados, visando uma recuperação que não pode ser alcançada por meio de procedimentos rotineiros. (KOBİYAMA et al, 2006, p. 7)

Por outro lado, eventos climáticos extremos são fenômenos que ocorrem uma vez ou outra fruto de causas naturais ou de interferência humana, mas que está associada à algum

elemento do clima (precipitação, temperatura, umidade, entre outros) que impactam na vida da população, mas não causam, necessariamente perdas materiais ou de vidas. Portanto, Conti (2000) diz que o clima é um fenômeno complexo que envolve uma enorme variabilidade no espaço e no tempo, além dessa variação ter diversos nomes, para isso a OMM (1996) fez um quadro definições e dentre os termos a ser analisado nesse trabalho, destaca-se o da Tendência Climática, que é o “aumento ou diminuição lenta dos valores médios ao longo da série de dados de, no mínimo, três décadas, podendo ou não ocorrer de forma linear” (OMM, 1996 apud CONTI, 2000, p.20). Outrossim,

A tendência climática é entendida como uma alteração suave do clima, com acréscimo ou decréscimo nos valores médios das variáveis analisadas, no período de registro. Yevjevich (1972) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas. Oscilação climática é a flutuação na qual a variável tende a mover-se gradualmente e de forma suave entre sucessivos máximos e mínimos (RODRIGUES, 2007). Enquanto, tendência climática é uma mudança climática caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios no período de registro. (RIBEIRO et al, 2014, p. 799)

Desse modo, entende-se a diferença dos termos climatológicos e percebe-se que os eventos climáticos extremos estão se tornando tão frequentes que em algum momento, num futuro próximo, os extremos climáticos de hoje serão tendências climáticas e os novos extremos serão mais severos e mais próximos de desastres naturais. Além disso, veremos mais à frente se o clima de Belém, apresenta eventos que já estão se tornando tendências climáticas. Mas antes, o próximo capítulo vai abordar sobre os métodos utilizados para chegar na identificação desses eventos climáticos extremos e seus impactos na população belenense.

5. PERCURSO METODOLÓGICO

Neste tópico, detalha-se a metodologia bem como o método a ser trabalhado e a forma como vai ser executado os resultados, de onde foi tirado a coleta de dados, principais teorias e a ilustração do percurso metodológico.

O presente trabalho utilizou o método quali-quantitativo, pois vai ser a partir da análise do índice de precipitação (acumulado em 24h) e temperatura máxima diária, que vai ser identificado os extremos climáticos e os seus impactos socioambientais. De acordo com Chizzotti (2006, p. 78)

[...] A abordagem qualitativa parte do fundamento de que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, uma interdependência viva entre o sujeito e o objeto, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito. O conhecimento não se reduz a um rol de dados isolados, conectados por uma teoria explicativa; o sujeito-observador é parte integrante do processo de conhecimento e interpreta os fenômenos, atribuindo-lhes um significado. O objeto não é um dado inerte e neutro; está possuído de significados e relações que sujeitos concretos criam em suas ações (CHIZZOTTI, 2006, p.78).

Ademais, para o entendimento do sistema climático da Amazônia e sua influência no sistema clima urbano de Belém, o trabalho vai se pautar na teoria geral do sistema de Bertalanffy e na obra e método de Monteiro (1975) da teoria do Clima urbano e análise rítmica do clima. Nesse contexto, foram analisadas imagens do satélite GOES (referente às 9h do horário de Brasília) tendo em vista que essa ferramenta identifica os sistemas atmosféricos e os impactos sentidos na escala urbana que vão ser tratados por meio da coleta de dados de estações locais. Outrossim, é a utilização do caminho metodológico usado por Nascimento, Luz e Cruz (2019) na identificação dos extremos climáticos na cidade de Goiânia-GO, que no caso desta dissertação, vai ser aplicado para o município de Belém.

Diante disso, seguindo a linha de raciocínio dos últimos autores citados, o presente trabalho vai usar como procedimento metodológico, a coleta de dados diários de precipitação e temperatura máxima, registrados pelas imagens de satélites do *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) e do *Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) – o produto em questão, foi o *MOD11A1 V6.1* fornece valores diários de temperatura da superfície terrestre (LST); respectivamente, tendo seus dados disponibilizados e modelados, para a cidade de Belém, por meio da plataforma Google Earth Engine. Além disso, vai ser usado, também, os dados contidos estações meteorológicas convencionais e automáticas do Inmet, revisão bibliográfica de dados da Embrapa (2002). Em seguida, os dados vão ser transformados em tabelas e gráficos por meio do Excel. Ademais, vão ser analisadas as normais climatológicas estabelecidas pelo Inmet e serão comparadas com os

dados diários da Temperatura Máxima Diária, bem como para analisar um índice de precipitação diário serão adotados parâmetros de 20% da normal climatológica mensal, do período de 1991-2020.

Outrossim, é a utilização da característica que a Embrapa (2002) usou para dividir o período climático de Belém e isso vai dar suporte nas análises de precipitações e temperaturas diárias do município. Esse acervo dessa instituição, divide o clima de Belém em: Dezembro a Maio, período mais chuvoso; Junho a Agosto, período de transição (final do período chuvoso); Setembro a Novembro, período de estiagem (EMBRAPA, 2002).

Ademais, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p.22) “escala climática diz respeito à dimensão, ordem ou grandeza, espacial (abrangência) e temporal (duração), segundo a qual os fenômenos climáticos são estudados”. Dessa maneira, a presente dissertação, não vai descartar a interação entre as três escalas climáticas, tendo em vista que o sistema climático funciona de modo que haja uma relação recíproca/sistêmica entre as escalas (Macroclima, Mesoclima e Microclima). Entretanto, vai dar um enfoque na escala Mesoclima, pois é a zona de transição entre as zonas superior e inferior do clima, e considera as grandes áreas florestadas dos interiores dos continentes, logo, o clima regional (Sistema Climático da Amazônia) como subunidade e as variações desse clima, que é o Clima Local, grande cidade, e nesse caso vai ser a cidade de Belém e o Topoclima que é o definido pelo relevo e pode abarcar uma pequena cidade ou um bairro (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Além de trabalhar com uma escala contemporânea de mais de 30 anos, buscando extremos diários de temperatura e precipitação, e no capítulo dois de resultados trabalha, também com uma escala histórica do clima.

Nesse sentido, a pesquisa vai de acordo com o que foi estabelecido pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), ao dizer que o “evento climático extremo é um acontecimento fora do padrão habitual” (OMM apud MAIA, 2024). Além disso, a organização, também, estabelece que os eventos extremos são fenômenos que superam a normal climatológica de modo que ultrapassam a variação natural de chuvas, temperaturas e entre outros (SANT'ANNA NETO apud MAIA, 2024). Segundo o Inmet (2022, p. 7), “as normais climatológicas são valores médios de variáveis meteorológicas calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas, e representa as características médias do clima em um determinado local”.

Desse modo, serão extremos climáticos de temperatura máxima diária os dias em que estiverem com uma temperatura acima da normal climatológica e os de índice de precipitação

diária serão os que tiverem valores acima de 20% da normal climatológica. Além disso, para a classificar os anos de influência e atuação do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) vai ser considerado a tabela disponibilizada pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), em seu Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), no site <http://enos.cptec.inpe.br/>.

Outrossim, durante a pesquisa, Nascimento, Luz e Cruz (2019), desenvolveram um método para a identificação dos Eventos Climáticos Extremos, com base na adaptação de alguns dos 27 índices de extremos climáticos desenvolvidos pelos *Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices* (ETCCDMI), vinculado à Organização Mundial de Meteorologia (OMM) (KARL; NICHOLLS; GHAZI, 1999 apud NASCIMENTO, LIMA e CRUZ, 2019, p. 589). Desse modo, os pesquisadores analisam o “Rx1day (maior acumulado diário de precipitação), o TXx (maior valor de temperatura máxima) e o TNn (menor valor de temperatura mínima)”, da cidade de Goiânia e agora vai ser analisado os índices da cidade de Belém, seguindo uma série temporal de 33 anos (1990 - 2023), além de, nessa pesquisa, não ser considerado a temperatura mínima.

Desse modo, o cálculo para o maior acumulado diário de precipitação (Rxday) foi feito com base na formula elaborada por Karl, Nicholls e Ghazi (1999): $Rx1day_j = \max(RR_{ij})$, sendo RR a quantidade de precipitação diária no dia i no período j . Ademais, para identificar o maior de temperatura máxima (TXx) foi usada a seguinte formula: $TXx_{kj} = \max(TX_{kj})$, sendo TX_x as temperaturas máximas diárias no mês k , período j (KARL, NICHOLLS e GHAZI, 1999).

Além disso, para demonstrar as consequências dos extremos climáticos na cidade de Belém, terá como base de dados as notícias, dos eventos extremos, ocorridos entre 1990-2023, dos principais jornais locais, Diário do Pará e O Liberal, disponível no acervo público da biblioteca estadual Arthur Vianna, da Fundação Cultural do Pará Tancredo Neves (CENTUR), as estações do Inmet auxiliaram na busca dos eventos extremos nas publicações dos jornais, tendo em vista que fornecem dados diários de precipitação e temperatura. Ademais, para analisar o clima da cidade de Belém e entender se os eventos extremos já estão se tornando uma tendência climática, vai ser necessário fazer uma revisão bibliográfica dos dados contidos no documento da Embrapa (2002), em que analisa o aspecto climatológico de Belém, nos últimos 100 anos. Posteriormente, será feita uma comparação das médias de temperatura e precipitação, mensal, contidas nesse documento com as médias mensais atuais, vai ser verificado a alteração no clima de Belém, a identificação de extremos diários, em um período climático antigo, e a

constatação de que os extremos atuais estão se tornando tendência climática. Nesse sentido, a dissertação possui o seguinte caminho metodológico (Figura 3).

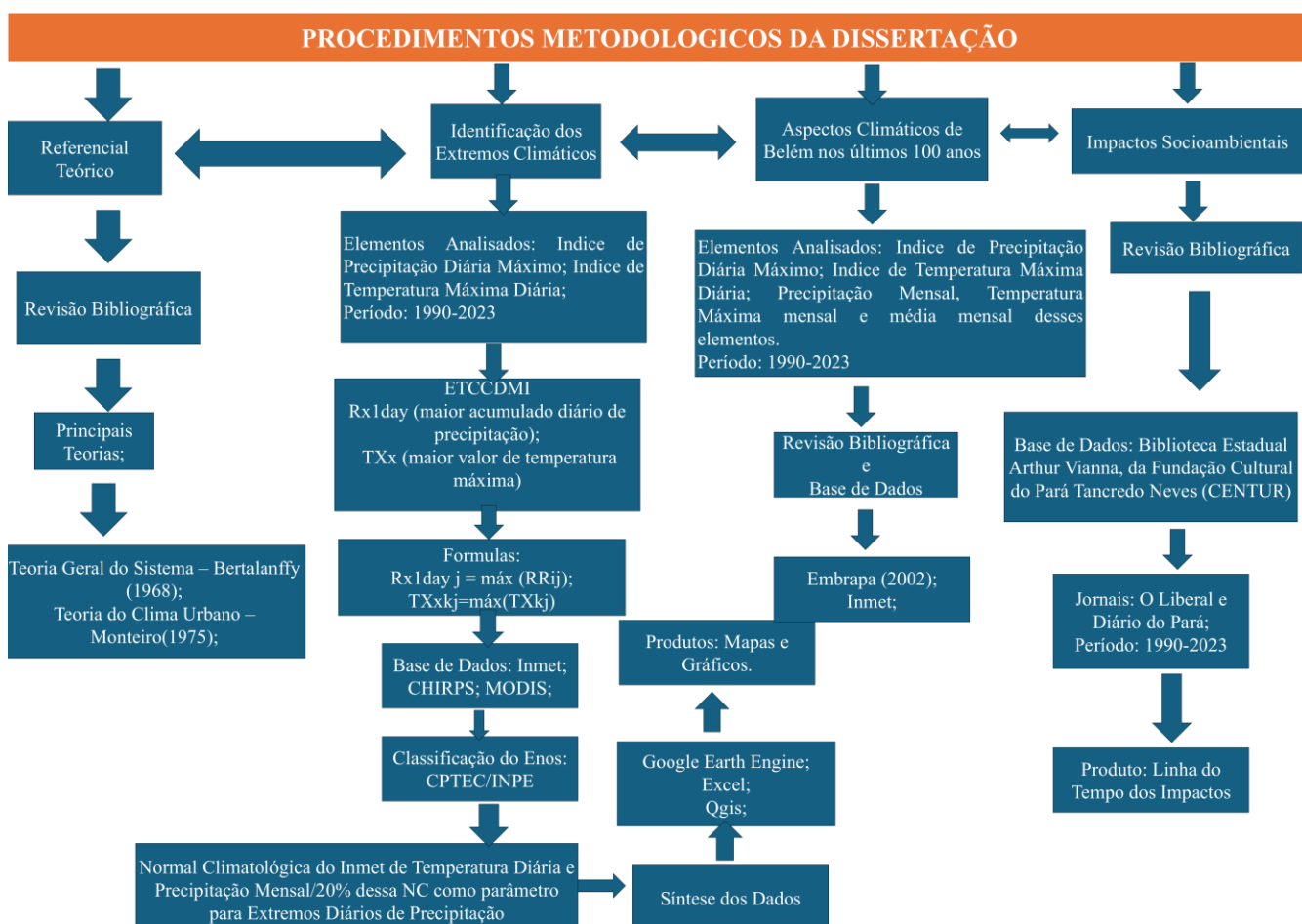


Figura 3 – Caminhos Metodológicos da Dissertação. Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Portanto, para a realização dos objetivos a pesquisa vai se basear no método qualitativo, onde será feita a coleta e discussões dos dados, e será feita uma coleta de dados, dos índices diários de precipitação e temperatura máxima, entre os anos de 1990-2023, das imagens de satélite CHIRPS e MODIS, além da estação convencional do Inmet, será feita, também, uma revisão bibliográfica de um relatório da Embrapa (2002). Posteriormente, os dados serão transformados em gráficos e tabelas que identificam os grandes desvios do estado climático e serão comparados com as normais climatológicas estabelecidas pelo Inmet. Além da pesquisa se baseou na Teoria Geral do Sistema de Bertalanffy, e da Teoria do Clima Urbano, de Monteiro (1975). O próximo capítulo aborda sobre os resultados encontrados e discussões feitas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico, vai abordar sobre os dados coletados nas estações convencionais do INMET, bem como a síntese desses dados para a identificação dos Eventos Climáticos Extremos, na cidade de Belém. O primeiro Capítulo, vai mostrar os extremos climáticos identificados entre os anos de 1990-2023.

6.1 CAPÍTULO 1: EVENTOS EXTREMOS DA CIDADE DE BELÉM (1990-2023)

O presente tópico mostra que a cidade de Belém já sofre com a presença de Eventos Climáticos Extremos, principalmente, nos índices de precipitação e temperaturas máximas diárias. Vale ressaltar que o Inmet estabeleceu as normais climatológicas para os elementos estudados e a partir delas, podemos identificar a ocorrência dos grandes desvios do estado climático desses elementos, tendo em vista que as normais climatológicas são as médias, de um período de três décadas consecutivas (INMET, 2022), desses elementos e facilita a identificação dos extremos climáticos (SANT'ANNA NETO apud MAIA, 2024).

Assim, eventos climáticos extremos são anomalias decorrentes de alterações dos elementos que compõem a normal climatológica, que segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), corresponde à média dos parâmetros meteorológicos de uma região, seguindo os critérios determinados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Tais anomalias podem resultar em mudanças dos condicionantes locais ou globais, proporcionados por elementos naturais ou oriundos da ação humana nos espaços, podendo ser de curta duração (minutos, horas ou dias) ou longa duração (uma ou mais estações). [...]. (SILVA JÚNIOR e CHAVES, 2021, p.52-53)

Desse modo, os Eventos Climáticos Extremos, são ocasionados por fenômenos meteorológicos ou climáticos que influenciam os elementos do clima (Precipitação, Temperatura, umidade, entre outros) de modo que ocorram grandes desvios desses elementos com volumes acentuados, impactando de modo significativo diversas áreas. Nesse contexto, com o avanço das mudanças climáticas e o planeta tornando-se cada vez mais quente, observa-se que a ocorrência desses fenômenos está mais recorrente.

Corroborando a discussão acerca dos desastres no território brasileiro associados às mudanças climáticas, Gonçalves (2011) ressalta que os extremos climáticos são os de maior relevância, com destaque para as variações bruscas da temperatura e os episódios de secas e enchentes, sendo estes os maiores causadores de calamidades no país. (SILVA JÚNIOR e CHAVES, 2021, p.51)

Em acordo com a citação acima, entende-se que os Extremos Climáticos estão cada vez mais frequentes não só no mundo como um todo mas, também, no território brasileiro, como é o caso do sul e sudeste do país sofrendo com tempestades e chuvas acima de 100 mm, no nordeste com situações de seca em seus rios ou de chuva extrema que ocasiona transbordamento dos rios e, por conseguinte, devido a uma geografia de relevo íngremes leva a enxurradas, e na Amazônia, temos casos de secas severas como foi o caso da cidade de Manaus em 2023.

Eventos oriundos de instabilidades climáticas são os mais recorrentes no Brasil, segundo a CNM (2018), a qual analisou o número de decretos reconhecidos pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) durante os anos de 2003 a 2018. O estudo apontou a seca como o evento mais recorrente no país, com a publicação de 22.714 decretos durante os 16 anos analisados. Já os eventos provocados por excesso de chuva obtiveram um total de 9.030 registros, valor também bastante considerável. Os eventos de seca foram mais recorrentes no Nordeste, e os relacionados ao excesso de chuva, na região Sul do país. Os menores índices de seca e de eventos que envolvem excesso de chuva foram registrados no Centro Oeste. (SILVA JÚNIOR e CHAVES, 2021, p. 57)

Diante disso, os cidadãos e autoridades da cidade de Belém, imaginam que estão distantes dos efeitos das mudanças climáticas, em especial, aqueles sentidos diretamente no espaço em que vivem. No entanto, os Eventos Climáticos Extremos já estão ocorrendo e estão se tornando frequentes. A figura a seguir, foi elaborada com base nos dados contidos na estação convencional do Inmet, e mostra os Eventos Climáticos Extremos Diários, de temperatura máxima e precipitação máxima, que ocorreram nos anos de 1990-2023, tendo como base as normais climatológicas estabelecidas pelo Inmet.

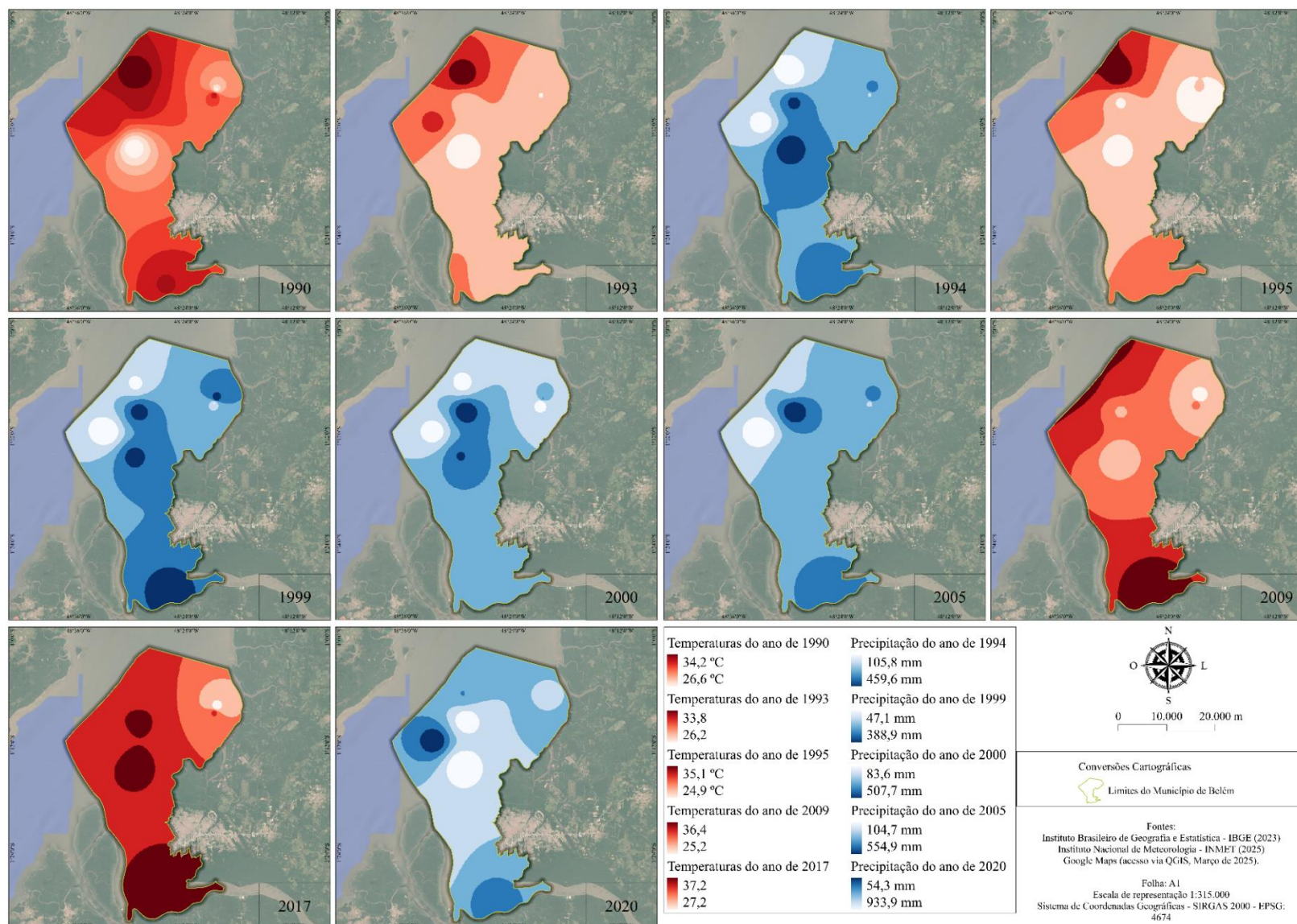


Figura 4 – Mapas da cronologia dos Extremos diários de temperatura e precipitação máxima, de 1990-2023. Fonte: Elaborados por Dias e Silva Junior (2025), com base em dados da estação do Inmet.

De acordo com a figura acima, observa-se que os Eventos Climáticos Extremos já estão ocorrendo, de modo que nos elementos analisados, as variações começam pequenas e vão se tornando significativas com o passar dos anos. Diante disso, os tópicos seguintes irão analisar detalhadamente os extremos mais significativos, começando pela análise do índice de precipitação e posteriormente vão ser analisadas as temperaturas máximas da capital.

6.1.1 Eventos Extremos de Precipitação da Cidade de Belém (1990-2023)

Para identificar os extremos de precipitação diária, adota-se os seguintes valores:

Tabela 1 - Parâmetros para Identificação dos Extremos de Precipitação Diária		
MESES	Normal Climatológica Mensal (1991-2020)	20% da Normal Climatológica (1991-2020)
Janeiro	393,8 mm	78,76 mm
Fevereiro	437,8 mm	87,56 mm
Março	506,3 mm	101,26 mm
Abril	465,5 mm	93,12 mm
Maio	323,6 mm	64,72 mm
Junho	205,8 mm	41,16 mm
Julho	156 mm	31,2 mm
Agosto	122,7 mm	25,74 mm
Setembro	120,1 mm	24,02 mm
Outubro	135,8 mm	27,16 mm
Novembro	151,4 mm	30,8 mm
Dezembro	283,5 mm	56,7 mm

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base nos dados do INMET

Analisando os Extremos de Precipitação, encontramos nos meses mais chuvosos, de dezembro à maio, os seguintes valores:

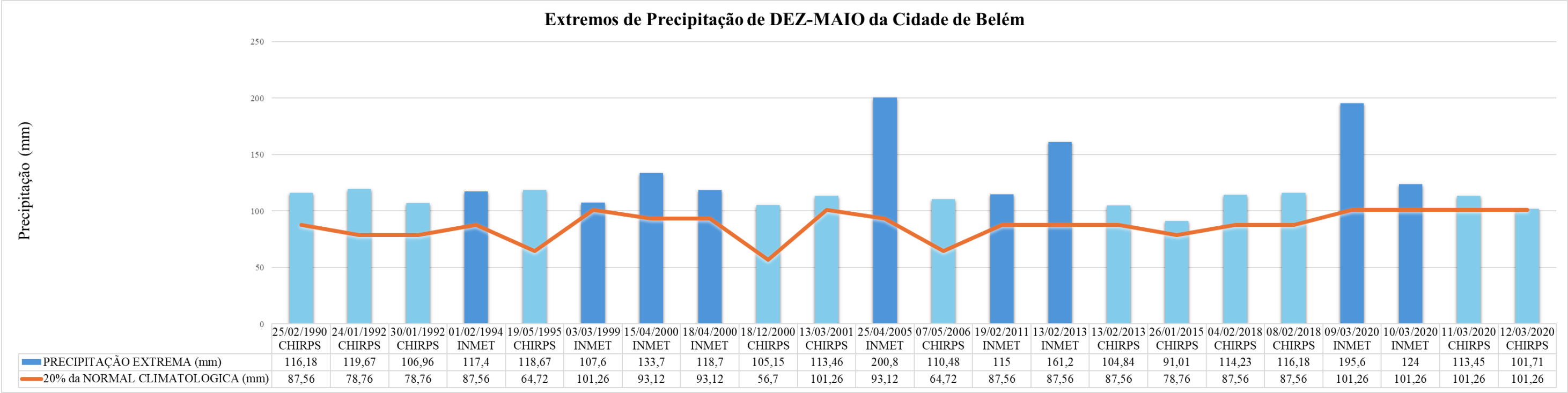


Figura 5 – Extremos de Precipitação da cidade de Belém, entre os meses de dezembro à maio. Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base nos dados da estação convencional do INMET e imagens do Satélite CHIRPS

Nesse sentido, percebe-se que os anos de 1995, 1994, 2000, 2001, 2013 e 2020 tiveram extremos de precipitação, em seus respectivos dias e meses, por conta da zona de convergência intertropical, fenômenos de mesoescala e microescalas.

Além disso, nos dias 15 e 18 de abril de 2000, o extremo de precipitação ocorreu, por conta, do estacionamento da ZCIT e nos dias 09, 10, 11 e 12 de março de 2020, o que ocorreu foi uma atuação mais intensa da zona de convergência intertropical tendo em vista que o oceano do atlântico norte estava aquecido (INMET, 2020). Vale ressaltar, que o dia 25/04 de 2005 apresentou o maior índice de precipitação dos últimos 30 anos, a causa desse extremo se deu pelo deslocamento de massas de ar fria vindas do sul da américa do sul e ao se chocar com as altas temperaturas e umidade do clima amazônico e da cidade de Belém, resultou nesse extremo. Por fim, os anos de 1999, 2011 e 2018, em seus respectivos dias, apresentaram extremos diários de precipitação pelo fato de estarem sentindo os efeitos da La Niña, sendo que registrou uma intensidade fraca e moderada (CPTEC/INPE), respectivamente, que juntamente com fenômenos de mesoescala e microescala provocaram esses extremos precipitantes. Além disso, os anos de 1992, 2006 e 2015 tiveram Eventos Climáticos Extremos diários de precipitação, causados pelo El Niño, e foi registrado uma intensidade forte para os anos de 1992 e 2015 e moderada para o ano de 2006 (CPTEC/INPE), o que demonstra um comportamento atípico do clima de Belém.

Dando continuidade, para os meses de transição, de junho a agosto, temos os seguintes valores:

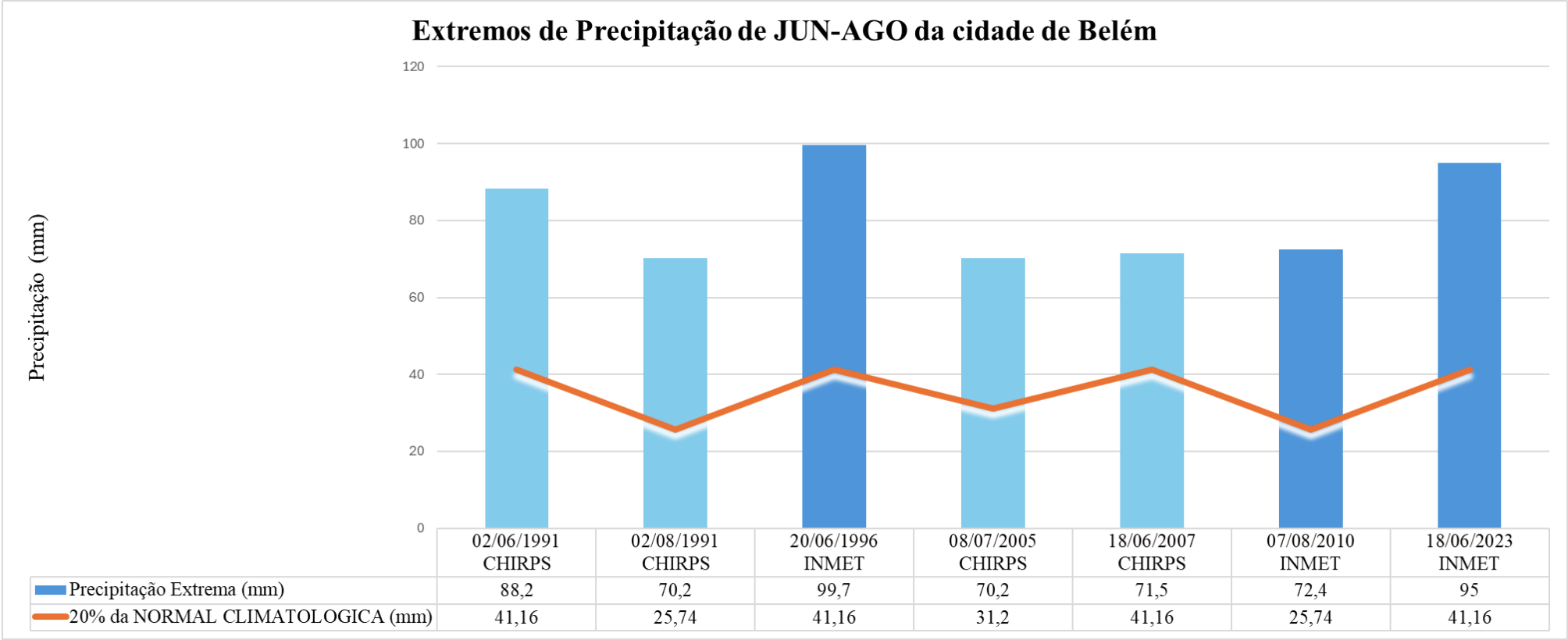


Figura 6 - Extremos de Precipitação da cidade de Belém, entre os anos de 1990-2023, nos meses de junho a agosto. Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base nos dados da estação convencional do INMET e satélite CHIRPS

Destarte, observa-se que os anos de 1996 e 2005, teve um dia do mês de junho com elevados índices de precipitação ocasionado por brisas terrestres e marítimas. Ademais, os anos de 1991, 2007 e 2023, apresentaram extremos chuvosos diários, por conta, do fenômeno El Niño com intensidades forte, para o ano de 1991, e moderada, para os outros anos, (CPTEC/INPE). Por outro lado, o ano de 2010, teve extremos de precipitações diários, por conta, dos efeitos da La Niña de intensidade moderada (CPTEC/INPE).

Desse modo, percebe-se que até mesmo no mês de transição, do período de chuvas, tem registros de extremos climáticos, seja eles por conta dos fenômenos Enos ou meteorológicos de microescalas, de modo que uma variação acima de 10% e até 20% poderia ser considerado normal, mas acima dos 20% percebe-se não é normal para meses em que espera-se a diminuição dessas chuvas. Nesse sentido, entende-se que ainda vai chover, mas não tanto como choveu nesses dias da figura acima, onde caracteriza bem a ocorrência de um Extremo de Precipitação Diário.

Por fim, dando continuidade na análise de extremos de precipitação, para o período de estiagem, de setembro a novembro, temos os seguintes valores:

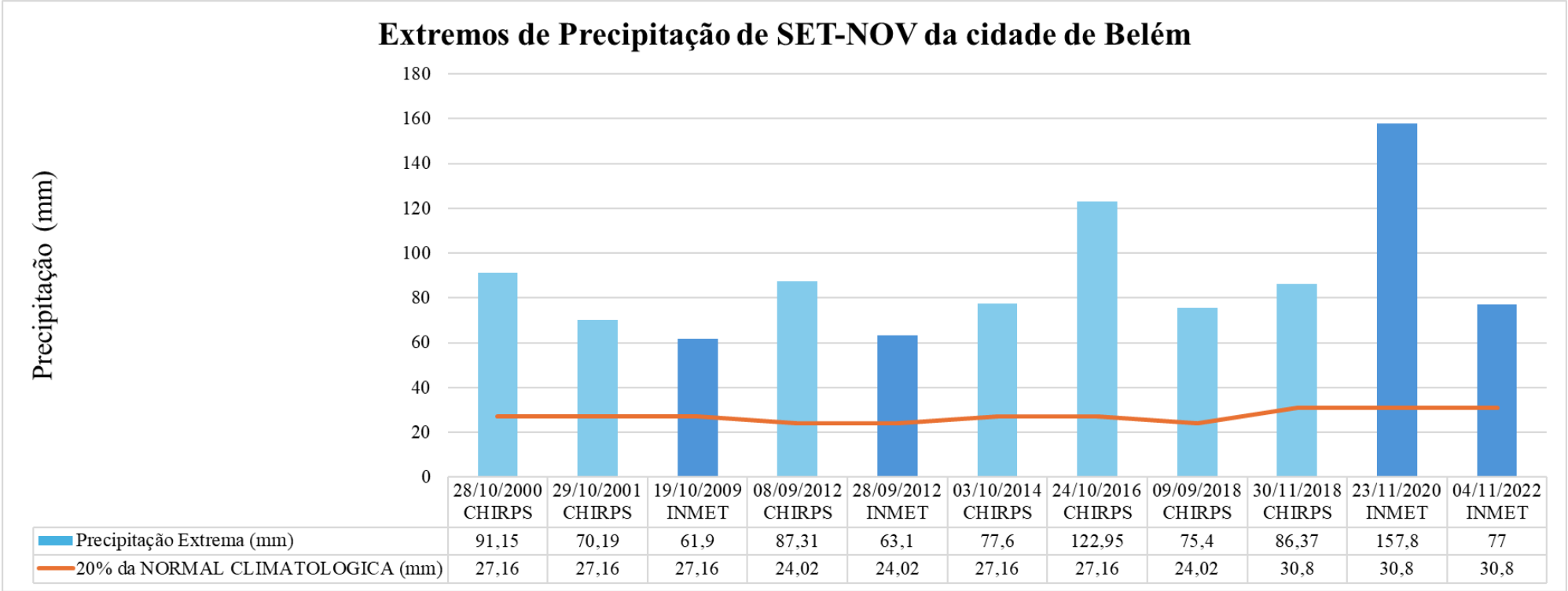


Figura 7- Extremos de Precipitação da cidade de Belém, entre os anos de 1990-2023, nos meses de Set-Nov. Fonte: Elaborado pelo autor (2024) com base nos dados da estação convencional do INMET e Satélite CHIRPS

Dessa maneira, observa-se que os anos de 2009 e 2016, tiveram extremos de precipitação, em seus respectivos dias e meses, por conta do fenômeno El Niño, que agiu com uma intensidade moderada e forte, respectivamente, (CPTEC/INPE). Além disso, nos anos de 2000, 2018, 2020 e 2022, tiveram elevados índices de precipitação diário, por conta do fenômeno La Niña que agiu de intensidade moderada, em 2000 e 2018, e forte, nos anos de 2020 e 2022, (CPTEC/INPE). Vale destacar que no dia 23/11/2020, a estação do Inmet, registrou uma chuva de 157,8 mm e essa chuva foi maior que a normal climatológica estabelecida pelo Inmet para o mês de novembro que é de 151,4 mm, de um período que vai de 1991-2020. No ano de 2012, a causa do elevado índice de precipitação foi linhas de instabilidade e brisas marítimas e terrestres. Para um período de seca, por conta da influência do El Niño e La Niña, respectivamente, que juntamente com fenômenos de meso e microescala provocaram chuvas acima da média em dias e meses em que não se esperavam.

Diante disso, entende-se que o município de Belém está sofrendo com as alterações do sistema climático da Terra de modo que o grande sistema (clima global) está sendo alterado pelo excesso de gases do efeito estufa e como consequência o planeta está ficando, a cada ano, mais quente e isso acarreta alteração nos fenômenos do Enos e em outros sistemas meteorológicos que influenciam o clima da Amazônia (clima regional) e, também, o clima de Belém (local/urbano – sistema climático micro). Além disso, a própria cidade, também, tem sua parcela de contribuição nessa alteração do Sistema climático global e no Sistema climático Urbano de Belém tendo em vista que com as transformações da estrutura urbana, perda da cobertura vegetal, entre outros fatores, fazem com que a cidade irradie o calor que produz para atmosfera ser cada vez maior e uma parte, também, ficar retida próximo da camada limite do Sistema climático urbano da capital paraense.

Portanto, em consonância com Monteiro (1976) o SCU possui a atmosfera como um operador do sistema, mas o homem como ser social e os demais seres vivos, são os principais agentes que modificam o clima, emanam diferentes energias para a atmosfera que altera o clima urbano e o clima global. Apesar, de os relatórios do IPCC alertar para um planeta mais quente, isso não quer dizer que as chuvas, também, não possam aumentar por conta desse aquecimento. De acordo com a OMM, à medida que o ar aquece, ele retem mais vapor de água, o que acarreta o aumento de chuvas intensas (OMM, 2024). Nesse sentido, a figura abaixo mostra como a cidade se comporta ao receber grandes quantidades de chuvas em um mês, especialmente, em meses que possuem dias com extremos diários.

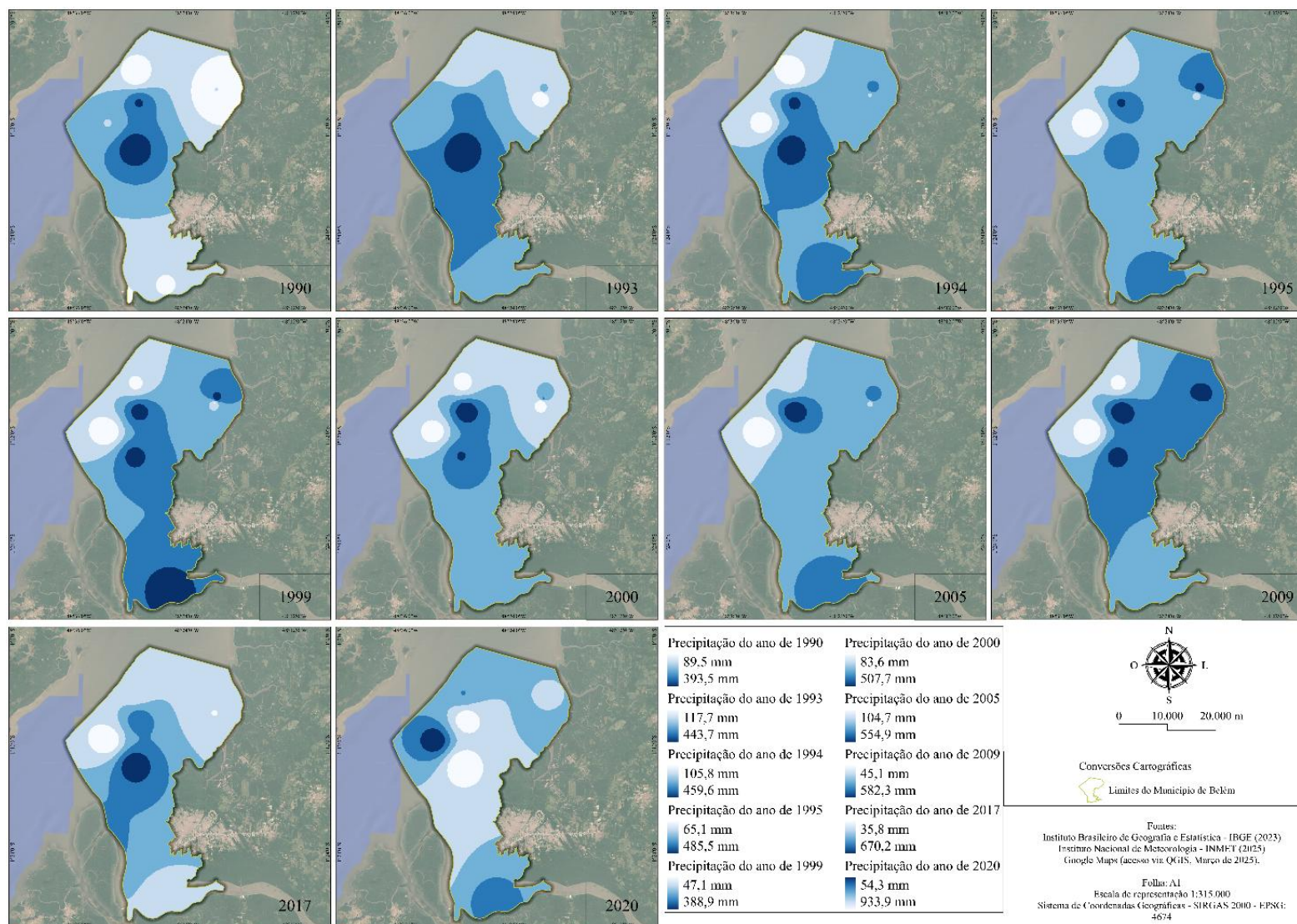


Figura 8 - Extremos de Precipitação Mensal da cidade de Belém entre os anos de 1990-2023. Fonte: Dias e Silva Junior (2025), com base nos dados da Estação do Inmet.

A partir da figura acima, entende-se que a cidade de Belém, com o advento das transformações do natural para o antrópico, não está preparada para a grande quantidade de chuvas que costuma receber, por ser uma característica do próprio clima, quem dirá de chuvas intensas e diárias, que resulta em impactos socioambientais diretos na vida da população e serão mais detalhados no capítulo 6.3.

Desse modo, percebe-se que os Eventos Climáticos Extremos dos índices de precipitação, diário, na cidade de Belém já estão ocorrendo com mais frequências, em todos os períodos característicos de chuvas, o mais impressionante são os elevados índices no período mais chuvoso, que chegam a ultrapassar 120 mm, e no período de estiagem, que chega a passar 60 mm, isto é, bem acima da média e do esperado.

6.1.2 Eventos Extremos de Temperaturas Máximas Diárias da Cidade Belém

Para identificarmos os extremos de temperaturas máximas diárias, nos baseamos nas normais climatológicas, estabelecidas pelo Inmet:

Tabela 2- Normais Climatológicas da Temperatura Máxima Diária (°C)

Meses	ANOS		
	1931-1960	1961-1990	1991-2020
Janeiro	31°C	30,9°C	31,4°C
Fevereiro	30,4°C	30,5°C	31°C
Março	30,3°C	30,4°C	31,1°C
Abril	30,8°C	30,8°C	31,5°C
Maio	31,4°C	31,3°C	32,2°C
Junho	31,8°C	31,7°C	32,5°C
Julho	31,7°C	31,7°C	32,6°C
Agosto	32°C	32,1°C	33°C
Setembro	31,9°C	32,1°C	33,2°C
Outubro	32°C	32,2°C	33,1°C
Novembro	32,2°C	32,3°C	33,1°C
Dezembro	31,8°C	31,9°C	32,5°C

Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base nos dados do INMET.

Nesse contexto, analisaremos agora os dados de Temperatura máxima Diária, onde os principais extremos são:

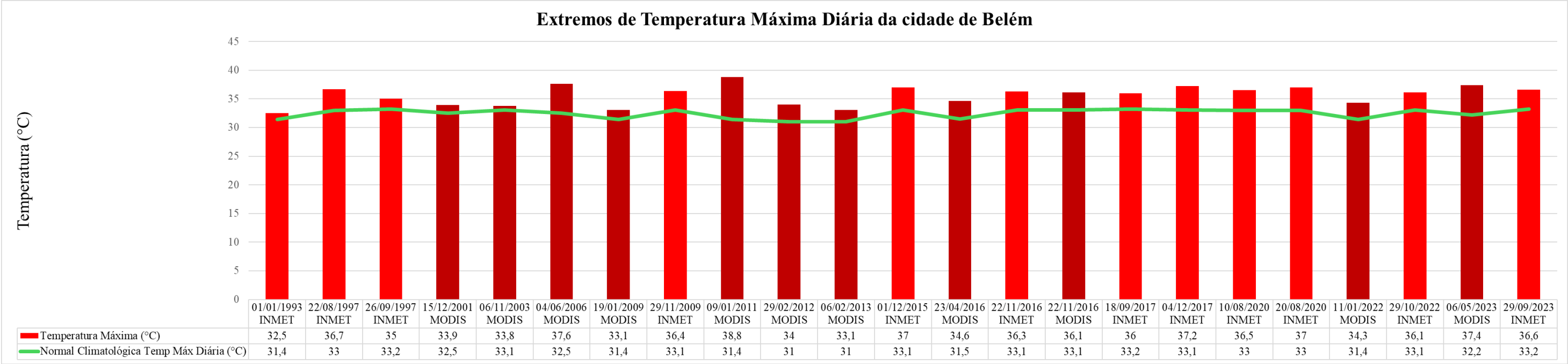


Figura 9 - Eventos Climáticos Extremos de Temperatura Máxima Diária (°C) mais significativos, entre os anos de 1990-2023. Fonte: Elaborado pelo autor (2024), com base nos dados da estação convencional do INMET e Satélite MODIS.

Desse modo, observa-se na figura acima que, nos respectivos dias e meses, dos anos de 1993, 1997, 2003, 2006, 2009, 2015, 2016 e 2023 tiveram eventos extremos de temperatura máxima diária caracterizadas pelas influencias do fenômeno El Niño, sendo que nos dias 22/08/1997, 04/06/2006, 29/11/2009, 01/12/2015, 23/04/2016, 22/11/2016, 06/05/2023 e 29/09/2023, foram dias com variações entre 3°C até 5,2°C, se comparadas com as normais climatológicas, dos anos 1991-2020, quando a cidade está sendo influenciada por esse fenômeno, as chuvas tendem a diminuir, e tenha uma tendência no aumento das temperaturas, juntamente com os fatores geográficos do local de estudo, fazem com que a cidade esquente mais. Além disso, nos meses de estiagem (Set-Nov) as temperaturas tendem a ser mais altas e com os efeitos das mudanças climáticas tendem a aumentar ao ponto de ocorrer extremos climáticos diários, como foi o que ocorreu nesses dias, em seus respectivos anos.

Outrossim, os anos de 2011, 2017, 2020 e 2022, em seus respectivos dias e meses, os extremos climáticos diários ocorreram em anos de La niña, o que é bem atípico tendo em vista que durante a ocorrência desse fenômeno as temperaturas tendem a serem mais amenas. Nesse sentido, os dias 18/09/2017, 04/12/2017, 10/08/2020, 20/08/2020, 11/01/2022 e 29/10/2022 apresentaram temperaturas diárias acima da normal climatológica, de 1991-2020, com variações entre 3°C - 4,1°C. Vale ressaltar que os dias mais quentes dos últimos 30 anos, foram os dias 09/01/2011, com uma temperatura de 38,8°C, variando 7,4°C da normal climatológica, e o dia 04/12/2017, com uma temperatura de 37,2°C, variando 4,1°C da média estabelecida pelo Inmet.

Ademais, nos dias 15/12/2001, 29/02/2012 e 06/02/2013 teve uma variação de 1,4°C a 3°C acima da normal climatológica, de 1991-2020, demonstrando que, apesar de ser um desvio pequeno, os extremos climáticos estão se intensificando e se tornando cada vez mais presente na cidade de Belém e tanto esses pequenos extremos como os outros causados pelo fenômeno do Enos, também, sofrem com uma urbanização desordenada em que se tem cada vez mais a perda da cobertura vegetal e cada vez mais prédios, carros, indústrias e pessoas que transmitem para a atmosfera mais gases do efeito estufa, fazendo com que o clima da cidade se torne cada vez mais vulnerável a ocorrência de Eventos Climáticos Extremos. Nesse sentido, a figura a seguir mostra como a cidade se comporta frente a extremos diários de temperatura, e os registrados nos mapas são os mais extremos ao longo desses últimos 30 anos.

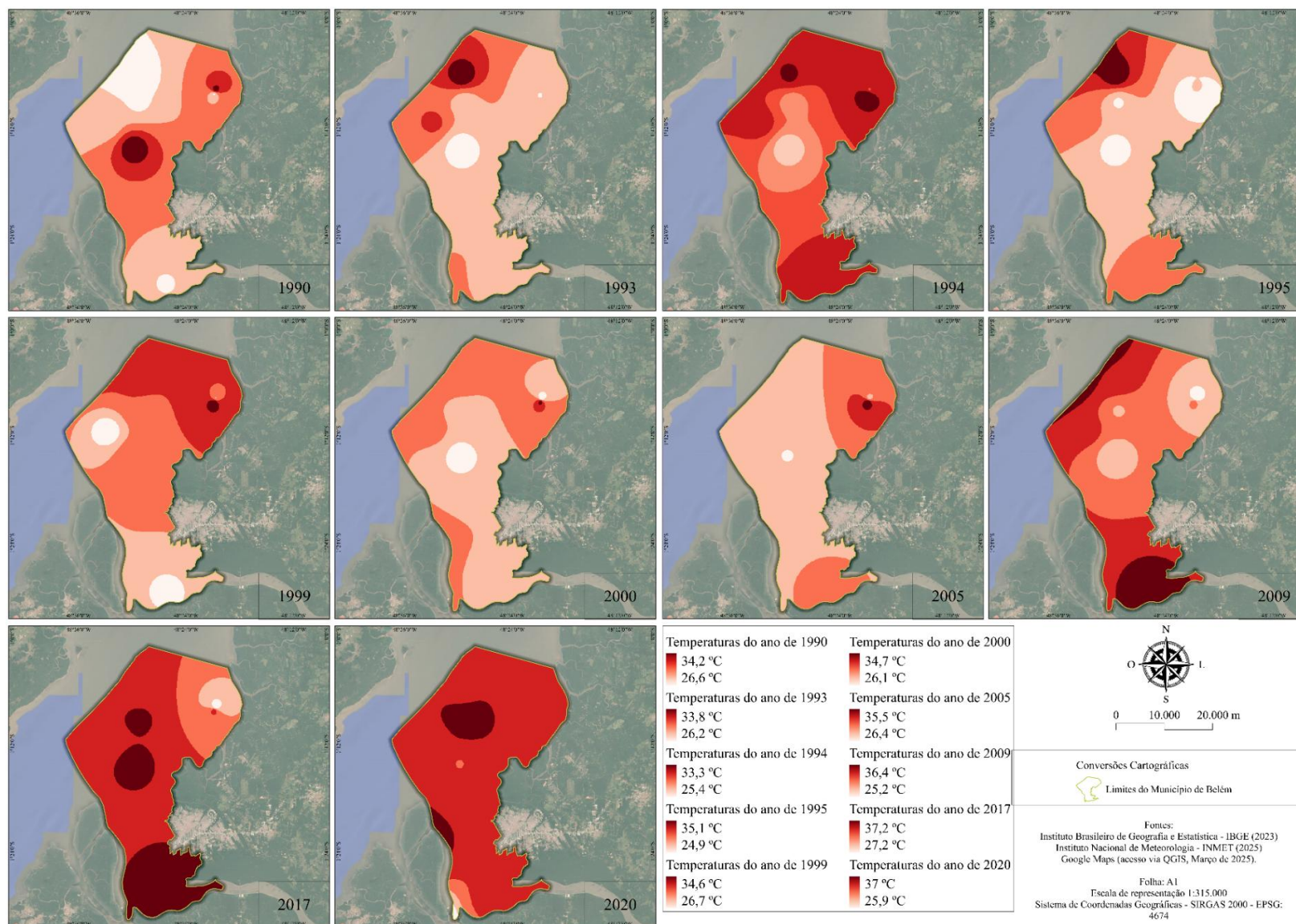


Figura 10 – Extremos Diários de Temperatura da cidade de Belém, 1991-2023. Fonte: Dias e Costa Junior (2025), elaborado com base nos dados das estações do Inmet.

Desse modo, a figura acima evidência cronologicamente o aumento da intensidade desses extremos diários de temperatura, especialmente, dos dias, meses dos anos de 2009, 2017 e 2020 em que tem-se os maiores registros dessas temperaturas e comportam-se de modo que as maiores intensidades estejam na primeira légua patrimonial da cidade, justamente, a parte mais urbanizada onde tem-se os maiores fluxos de carros, comércio, circulação de pessoas e maior emissão de calor para a atmosfera, propiciando uma maior temperatura e desconforto térmico para as pessoas que estão nesse local.

Os estudos relacionados ao clima nas cidades brasileiras ganharam foco mais amplo nas últimas décadas, devido ao seu rápido crescimento urbano, caracterizado por Santos (1993) como “urbanização corporativa”, seguindo um modelo voltado para ocupação dos espaços da cidade, sem preocupação com as condições da sociedade e do meio ambiente que ali passavam a coexistir. Mendonça (2011, p.175), destaca que as mudanças na qualidade do ar das cidades no Brasil são reflexos das transformações ambientais pelas quais as áreas urbanas passaram a apresentar por volta da década de 1970. (SILVA JÚNIOR e CHAVES, 2021, p. 50)

Nesse sentido, entende-se que a perda da cobertura vegetal e transformação para uma paisagem mais antrópico, na cidade de Belém, em especial, para a primeira légua patrimonial, são frutos de um planejamento urbano mau feito, de gestores que não pensaram na relação sociedade-natureza, e quem mais sofre é a população, tendo em vista que esse local é um dos mais quentes da capital e quando chove, é o mais suscetível a alagamentos e inundações, sendo a população trabalhadora, mais carente, uma das que mais sofrem com esses fenômenos. Desse modo, a pesquisa entra em acordo com Sant’Anna Neto (2011, p. 47) ao dizer que

Eventos extremos como ondas de calor, chuvas intensas, inundações repentinas, vendavais, elevada amplitude térmica diuturna, tempo seco e estável propício à formação de ilhas de calor, ou concentração de poluentes na atmosfera, são alguns dos exemplos de configurações climáticas que afetam, de forma mais tangente ou mais profunda a economia e a qualidade de vida dos diversos grupos sociais. Como a produção do espaço urbano segue a lógica da reprodução capitalista, portanto gerador de espaços segregados e fragmentados, longe de se produzir um sistema que respeite e se adapte às condições ambientais e naturais, é de se esperar que esta contradição resulte em impactos altamente sensíveis aos diversos grupos sociais que habitam a cidade, também de forma desigual, tornando as desigualdades sociais, ainda mais agudas. (SANT’ANNA NETO, 2011, p. 47)

Portanto, observa-se que as consequências das mudanças climáticas, por meio dos Eventos Climáticos Extremos, são percebidas de formas diferente pelos cidadãos da cidade de Belém, uma vez que a classe que é mais rica consegue atenuar ou anular os efeitos desses episódios em seus cotidianos. Enquanto, a população mais pobre, mais vulnerável, esta suscetível ao desconforto térmico e a áreas de alagamentos e inundações, em seus cotidianos.

Diante disso, o próximo capítulo vai abordar sobre o comportamento do clima urbano de Belém nos últimos 100 anos, com objetivo de demonstrar a mudança que o clima sofreu, se houve episódios de eventos extremos e se os que ocorrem nos dias atuais já não é uma clara demonstração de mudança do clima da cidade, fazendo com que os eventos de hoje seja uma tendência climática do futuro.

6.2 CAPÍTULO 2: EVENTOS EXTREMOS OU TENDÊNCIA CLIMÁTICA? ANÁLISE DOS ASPECTOS CLIMÁTICOS DA CIDADE NOS ÚLTIMOS 100 ANOS

Como já foi dito anteriormente, os eventos climáticos extremos, são fenômenos meteorológicos ou climáticos fora do padrão, em outras palavras, quando ocorre uma mudança na intensidade ou frequência desses fenômenos. Deste modo, vale ressaltar que esses eventos têm se tornado cada vez mais frequente no mundo todo nos últimos anos, e isso ocorre devido às mudanças climáticas e a forma como a sociedade internacional tem se desenvolvido e alterado o sistema natural (vegetação, atmosfera, entre outros). No entanto, fica o questionamento se a presença desses eventos já não é uma demonstração da mudança do clima, de modo que, seja normal essa intensidade e frequência que eles ocorrem agora? Será que o clima da Terra está se transformando ao ponto desses eventos se tornarem tendências climáticas, isto é, algo normal da variabilidade do clima?

Não existe, ainda, uma resposta concreta para esses questionamentos, pois cientistas do mundo todo discutem sobre isso e ainda existem muitas divergências nesse assunto. Porém, nota-se que o clima da cidade de Belém tem passado por uma transformação e a presença desses fenômenos já podem ser considerados Tendência Climática, que é definida como o “aumento ou diminuição lenta dos valores médios ao longo da série de dados de, no mínimo, três décadas, podendo ou não ocorrer de forma linear” (OMM, 1996 apud CONTI, 2000, p.20), ou seja, é uma mudança suave do clima, que ocorre de forma sistemática e contínua (RIBEIRO et al, 2014, p.799).

Desse modo, com base nos dados do documento da Embrapa (2002) e com os dados das estações do INMET, realizar-se-á a coleta de dados e a síntese, para entender o padrão climático da cidade de Belém, em especial, da sua Temperatura do Ar, em especial, a temperatura máxima, e Precipitação, do período de 1896-2023. Nesse sentido, a imagem abaixo mostra o clima de Belém em dois momentos: o de 1896-1922 e o de 1930-1960.

Tabela 3. Dados meteorológicos médios e extremos de Belém. Período: 1896 – 1922.

Mês	Temperatura do Ar °C					UR (%)	Chuva (mm)	
	Máx	Mín	TXA	TMA	Média		Total	Máx (24h)
Jan	31,2	22,2	35,0	19,0	25,3	92	317,9	96,0
Fev	30,8	22,2	35,0	19,8	25,0	92	347,1	206,0
Mar	30,7	22,4	34,9	19,0	25,2	92	384,1	125,0
Abr	30,9	22,5	37,1	20,3	25,4	92	338,5	131,5
Mai	31,4	22,6	34,5	19,8	25,7	90	262,4	92,3
Jun	31,5	22,0	33,8	20,0	25,6	88	181,8	63,0
Jul	31,5	21,7	34,3	18,0	25,5	87	172,8	87,0
Ago	31,8	21,7	35,5	20,0	25,7	87	125,2	50,5
Set	32,1	21,6	35,7	18,1	25,9	87	96,4	71,3
Out	32,5	21,6	36,6	19,5	26,1	86	79,9	41,0
Nov	32,9	21,8	37,5	19,4	26,4	86	70,0	44,2
Dez	32,3	21,9	37,0	19,0	25,6	88	162,0	141,5
Ano	31,6	22,0	37,5	18,0	25,6	89	2538,1	206,0

Máx. = temperatura máxima; Mín. = temperatura mínimas; TXA = temperatura máxima absoluta; TMA = temperatura mínima absoluta; Média = temperatura média; UR = umidade relativa; Total = chuva total; Máx. 24h = chuva máxima em 24 horas.

Fonte: Cunha & Bastos (1973).

Tabela 4. Dados meteorológicos médios e extremos de Belém. Período: 1930 – 1960.

Mês	Temperatura do ar °C					UR(%)	Chuva (mm)		
	Max	Min	TXA	TMA	Média		Total	Máx (24h)	Ins (h)
Jan	31,0	22,6	34,6	19,5	25,6	89	318,1	78,2	156,6
Fev	30,4	22,7	33,7	20,2	25,5	91	407,1	118,2	112,3
Mar	30,3	22,8	34,5	19,6	25,4	91	436,3	102,1	102,2
Abr	30,8	23,8	34,1	21,1	25,7	90	381,9	101,1	131,5
Mai	31,4	22,9	34,1	20,4	26,0	87	264,5	125,6	195,8
Jun	31,8	22,5	34,1	20,2	26,0	84	164,7	63,0	239,5
Jul	31,7	22,2	34,2	19,5	25,9	83	160,9	102,0	268,1
Ago	32,0	22,1	34,0	19,1	26,0	83	116,2	54,6	267,3
Set	31,9	22,0	33,7	19,4	26,0	84	119,7	64,3	235,2
Out	32,0	22,0	34,4	18,9	26,2	83	104,6	61,3	247,0
Nov	32,2	22,1	35,1	19,4	26,5	82	90,7	98,4	220,7
Dez	31,8	22,4	35,4	19,3	26,3	85	197,3	84,6	213,2
Ano	31,4	22,4	35,4	18,9	25,9	86	276,6	125,6	2389,4

Máx. = temperatura máxima; Mín. = temperatura mínimas; TXA = temperatura máxima absoluta; TMA = temperatura mínima absoluta; Média = temperatura média; UR = umidade relativa; Total = chuva total; Máx. 24h = chuva máxima em 24 horas; h = insolação.

Fonte: Brasil (1968).

Figura 11: Dados médios da temperatura máxima e média entre os anos de 1896-1922 e 1930-1960 Fonte: Embrapa (2002)

Com isso, de acordo com a figura 11, observa-se que a temperatura média do primeiro período climático, de 1896-1922, variava de 25°C - 26,4°C sendo que as médias com maior valor estavam presentes nos meses de pouca chuva (estiagem) como em outubro e novembro. Por outro lado, no segundo período climático, de 1930-1960, a temperatura média variava de 25,4°C - 26,5°C de modo que os meses com temperaturas iguais ou superiores a 26°C se tornaram bastante presentes em comparação com o período anterior, nota-se que as temperaturas aumentaram e o clima da cidade tornou-se mais quente.

Além disso, vale ressaltar que no primeiro momento climático a temperatura máxima variava de 30,7°C - 32,9°C e a temperatura máxima absoluta, isto é, o pico máximo da temperatura em um único dia, variava de 35°C - 37,5°C e isso demonstra que nesse primeiro

momento já tinha a presença de Eventos Climáticos Extremos pois em um dia dos anos de 1909, 1914, 1915, 1920, 1921, 1922 as temperaturas máximas foram, respectivamente, de 36,4°C, 37°C, 37,5°C, 37,1°C, 37°C e 37,5°C (CUNHA e BASTOS, 1973 apud EMBRAPA 2002). Por outro lado, no segundo momento, de 1930-1960, as temperaturas máximas variaram de 30,3°C - 32,2°C e as temperaturas máximas absolutas variaram de 33,7°C - 35,5°C, nesse período climático fica claro que os eventos extremos não ocorreram da mesma intensidade do primeiro período climático, mas ocorreram e isso demonstra a presença deles nesses dois períodos analisados. Desse modo, a próxima tabela vai mostrar a média do terceiro período climático analisado de 1961-1990.

Tabela 3: Dados Climáticos da Média da Temperatura máxima e Temperatura Média (1961-1990)

Meses	Tmax	Tmed
Janeiro	30,9	25,6
Fevereiro	30,5	25,3
Março	30,4	25,5
Abril	30,8	25,6
Maio	31,4	25,8
Junho	31,7	25,9
Julho	31,8	25,7
Agosto	32,1	26
Setembro	32,1	25,9
Outubro	32,2	26,3
Novembro	32,3	26,4
Dezembro	31,8	26,1

Fonte: Estação Convencional do INMET (2024)

De acordo com a tabela 3, o terceiro período climático analisado, de 1961 - 1990, apresenta uma temperatura média que varia de 25,3°C - 26,4°C e uma temperatura máxima que varia de 30,4°C - 32,3°C e isso demonstra que se comparado com os dois períodos anteriores, esse período analisado manteve os índices de temperatura. Por fim, a próxima tabela analisa o período de 1991-2023

Tabela 4: Dados Climáticos da Média da Temperatura máxima e Temperatura Média (1991-2023)

Meses	Tmax (°C)	Tmed (°C)
Janeiro	31,5	26,3
Fevereiro	31	26,1
Março	31,1	26,2
Abril	31,6	26,5
Maio	32,2	26,8
Junho	32,5	26,9
Julho	32,6	26,8
Agosto	33,1	27,1
Setembro	33,3	27,2
Outubro	33,2	27,3
Novembro	33,2	27,4

Dezembro 32,5 27
 Fonte: Estação Convencional do INMET (2024)

Observa-se na tabela acima que o último período climático analisado apresenta a temperatura média com uma variação de 26,1°C - 27,4°C e a temperatura máxima com variação de 31°C - 33,3°C o que demonstra, por meio da média dos dados de temperatura média, que a cidade ficou mais quente se comparado com os períodos de 1896-1922, 1930-1960 e 1961-1990. Sem contar a presença mais frequentes de extremos climáticos como os de temperatura máxima em dias dos anos de 1997, 2009, 2015, 2017, 2020 e 2023 que apresentaram, respectivamente, 36,7°C, 36,4°C, 37°C, 37,2°C, 37°C e 36,6°C (INMET, 2024).

Diante disso, entende-se que o clima da cidade de Belém, em especial, a sua temperatura tem passado por uma transformação de modo que se tornou mais quente e os extremos de temperatura estão se tornando mais frequentes e em uma tendência climática tendo em vista que a média de temperatura vem subindo e esses extremos serão considerados dentro da curva normal e para serem extremos tem que ser mais quente com temperaturas chegando a 39°C ou 40°C, por exemplo.

Além disso, sobre a mudança no índice de precipitação observa-se que na figura 11, o primeiro momento climático (1896-1922), a média de chuvas nos meses, durante esse período, variou de 70 mm – 384,1 mm, sendo a média total de chuva, ao longo desses 26 anos, de 2538,1 mm e os extremos de precipitação diária, foram de 206 mm (fevereiro), 131,5 mm (abril), 87 mm (julho), e 141,5 mm (dezembro). Enquanto no segundo período climático, de 1930-1960, a média de precipitação, dos meses, do período analisado, variou de 90 mm – 436,3 mm, sendo a média total de chuva, ao longo desses 30 anos, de 2761,3 mm e os extremos de precipitação diária, foram de 118,2 mm (fevereiro), 102,1 mm (março), 101,1 mm (abril), 125,6 (maio), 102 mm (julho) e 98,4 mm (novembro). Nesse sentido, entende-se que as chuvas na cidade de Belém estão aumentando e os eventos extremos de um volume maior de chuva em um único dia, também, estão aumentando. A tabela a seguir, mostra o comportamento do índice de precipitação no período de 1961-1990

Tabela 5 - Dados Climáticos do Índice de Precipitação, da cidade de Belém, entre os anos de 1961-1990

Meses	Precipitação Média (mm)	Precipitação Máx Diária (mm)
Janeiro	351,2	118,2
Fevereiro	388,6	117,4
Março	406,4	136,9
Abril	336,2	112,8
Maio	274,7	103,5
Junho	151,1	85,4
Julho	145,1	111

Agosto	122,4	80,4
Setembro	131,5	67,4
Outubro	106,3	65,4
Novembro	101,4	66,4
Dezembro	191,4	121,4
Total de Precipitação (mm)/	2706,5	136,9
Maior Extremo Diário (mm)		

Fonte: Estação Convencional INMET (2024)

Desse modo, observa-se que na tabela 5, o índice de precipitação média variou de 101,4 mm – 406,4 mm, sendo o total de chuvas, durante esse período analisado, foi de 2706,5 mm e os extremos de Precipitação diária, mais relevantes, foram de 136,9 mm (Março), 111 mm (Julho) e 67,4 (Setembro). Nesse sentido, entende-se que apesar do número de chuvas ter diminuído, se comparado com os outros dois períodos climáticos, elas ficaram mais bem distribuída, principalmente, nos meses de junho adiante. Destarte, a próxima tabela vai mostrar a média de precipitação dos anos de 1991-2023.

Tabela 6 - Dados Climáticos de Precipitação, da cidade de Belém, entre os anos de 1991-2023.

Meses	Precipitação Média (mm)	Precipitação Máx Diária (mm)
Janeiro	384,2	97,8
Fevereiro	436,3	161,2
Março	509,1	195,6
Abril	461,7	200,8
Maio	332,8	101,6
Junho	210,1	99,7
Julho	157,6	87
Agosto	131,5	72,4
Setembro	124,8	63,1
Outubro	140	74,4
Novembro	160,2	157,8
Dezembro	282,5	117,4
Total de Precipitação (mm)/	3330,8	200,8
Maior Extremo Diário (mm)		

Fonte: Estação Convencional do INMET (2024)

Nesse contexto, a tabela 6 mostra que a incidência de chuvas aumentou bastante, se comparado com os outros períodos climáticos (1896-1922; 1930-1960; 1961-1990), sendo total de 3330,8 mm e a variação do índice de precipitação de 140 mm – 509,1 mm e os extremos muito mais frequentes, sendo demonstrado na tabela os que foram maiores, do período analisado, e os mais significativos foram os que ocorreram em março, de 2020, que foi de 195,6 mm; abril, de 2005, que foi de 200,8 mm; em junho, 1996, que foi de 99,7 mm; em novembro, de 2020, que foi de 157,8 mm.

Diante disso, entende-se que o clima da cidade de Belém mudou e que os dados demonstram que a tendência é a cidade ficar cada vez mais quente e mais chuvosa, por mais

durante a análise observou-se que teve variações, tanto da temperatura quanto da precipitação, sendo de um período climático anterior maior e o próximo menor, percebe-se que é a variabilidade do clima. No entanto, o clima da cidade apresenta mudança com a média do índice de temperatura e precipitação subindo a cada 20-30 anos. Além disso, os extremos climáticos nos 4 períodos climáticos (1896-1922; 1930-1960; 1961-1990; 1991-2023) analisados se tornaram mais frequentes e cada vez mais extremos, o que demonstram que eles já estão se tornando uma variabilidade natural do clima da cidade, isto é, uma tendência climática, pois estão entrando na curva da normalidade. Nesse sentido, preocupa-se em entender como serão os novos extremos climáticos da cidade de Belém e tudo encaminha para serem mais severos, impactantes e extremos. Dessa maneira, vale demonstrar como eles impactam no cotidiano da população e o próximo tópico vai mostrar isso.

6.3 CAPÍTULO 3: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O CLIMA URBANO DE BELÉM: PRINCIPAIS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Outro grande problema que as cidades vêm enfrentando são as mudanças climáticas, tendo em vista que os seus efeitos provocam enchentes, quando chuvas intensas ocorrem, doenças respiratórias, em especial nos dias em que se tem elevadas temperaturas. De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia (1956, apud CONTI, 2000, p.19), a mudança climática é “toda e qualquer manifestação de inconstância climática, independentemente de sua natureza estatística, escala temporal ou causas físicas” (OMM, 1956. apud CONTI, 2000, p.19).

Além disso, as mudanças climáticas são a “mudança no estado do clima que pode ser identificada (isto é, pelo uso de testes estatísticos) por mudanças na média ou na variabilidade de suas propriedades e que persiste por um período extenso, geralmente décadas ou mais” (IPCC, 2012, p. 3, apud Braga, 2012, p.3). Destarte, identifica-se que as principais alterações no clima, é o aumento da temperatura no planeta e de acordo com o último relatório do IPCC, do ano de 2023, (Painel intergovernamental de mudanças climáticas) entre os anos de 1911 à 2020, ocorreu um aumento de 1,1°C na temperatura média global, se comparadas com o período de 1850-1900.

No entanto, como diz CONTI (2005, p.71) “A mudança climática envolve um dinamismo mais complexo do que a simples elevação da média térmica, mesmo porque o clima não se define só pela temperatura. Contudo, a reação em cadeia que se estabelece a partir do aquecimento deve ser avaliada em profundidade”. Perante isso, percebe-se que as mudanças climáticas alteram outros elementos climáticos, tais como o índice de precipitação, de modo que acarreta uma elevação ou diminuição desse fenômeno (SILVA, MONTENEGRO e SOUZA, 2017).

Diante disso, o índice de precipitação indica a queda líquida ou sólida, de águas, provenientes da atmosfera, isto é, “às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro” (AYOADE, 1996, p.159). De acordo com Ayoade (1996), é muito difícil achar um padrão de distribuição da precipitação, no globo, tendo em vista sua dependência à determinados elementos, tais como: topografia, a distância a partir dos grandes corpos hídricos, direção e caráter das massas de ar, entre outros. No entanto, no que tange ao local de estudo, esse autor determinou a zona equatorial possui elevado índice de precipitação (1500-2000 mm) e com pouca variabilidade de precipitação (10-15% de desvio), o que torna a medição da precipitação média, dessa zona, confiável (AYOADE, 1996).

Além disso, segundo Ayoade (1996) existem três tipos de precipitação - convectiva, ciclônica e orográfica- nesse trabalho vai ser aprofundado o conceito de precipitação convectiva, pois é esse tipo de chuva que ocorre na cidade de Belém (EMPRAPA, 2002). Em suma, esse tipo de precipitação está atrelado às nuvens do tipo cumulus e cumulonimbus, sendo causada pelo movimento vertical de uma massa de ar ascendente, que é mais quente do que o meio ambiente.

[...] a frequente formação de nuvens do tipo cumulonimbus sobre Belém, favorece a ocorrência de vários tipos de trovoadas, cuja média anual está em torno de 165 dias. Esse tipo de fenômeno é produzido por nuvens cumulonimbus e se manifesta com descargas elétricas, chuvas intensas e ventos muito fortes e, em algumas situações, a trovoadas pode evoluir até o nível de tornado (EMBRAPA, 2002, p.14-15).

Apesar de ser mais curta que os outros tipos de precipitações, é mais intensa e sempre vem acompanhadas de trovões. Além de possuir três subcategorias: Aguaceiros convectivos dispersos, Aguaceiros convectivos organizados e nuvens cumulonimbus organizadas em torno do vórtice de ciclones tropicais (AYOADE, 1996, p.162). Nesse sentido, vale ressaltar os seus impactos no cotidiano do cidadão belenense e para isso foi feita uma pesquisa nos principais jornais da cidade, a figura a seguir mostra isso, e os parágrafos a seguir relatam isso.



Figura 12 – Linha do tempo de Extremos de Precipitação Diário da Cidade de Belém, 1991-2023. Fonte: elaborado pelo autor (2024), com base no repositório da Biblioteca do Centur dos jornais O Liberal e Diário do Pará.

Desse modo, no dia 01/02/1994, de acordo com a estação convencional do Inmet, choveu 117,4 mm, na cidade de Belém, e no dia seguinte os jornais locais, como O Liberal e Diário do Pará, noticiaram os estragos ocorridos desse extremo climático que teve duas horas e meia de duração e a situação foi agravada porque coincidiu com a maré alta e isso resultou em várias áreas alagadas, principalmente, em áreas próximas a canais em que se encontram grande parte da população mais carente (MADRUGADA..., 1994). De acordo com a reportagem, um dos pontos mais atingidos foram no bairro da Pedreira, Barreiro, Estrada Nova e Rua dos Pariquis, entre Alcindo Cacela e Generalíssimo Deodoro, o canal da Tv.14 de março e a passagem Nazaré onde os moradores ficaram ilhados e pretendem assinar um abaixo-assinado para o prefeito, na época, dizendo que não irão pagar o Iptu (MADRUGADA..., 1994).

Ademais, o dia 03/03/1999, Belém registrou, segundo as estações do Inmet, 107,6 mm e os estragos desse Evento Extremo foram noticiados pelo jornal O Liberal e na reportagem, os meteorologistas, apontaram como causa a influência do fenômeno La Niña, que intensifica as chuvas na região amazônica, além de causar alagamentos o dano diferencial desse evento foi que causou transtorno no trânsito, como colisões entre veículos e problemas técnicos, fazendo o número do centro de operações integradas (CIOP) ir para 17, o que era bem atípico para a época (CHUVAS..., 1999).

Por conseguinte, em abril de 2000, nos dias 15 e 18, choveu 133,7 mm e 118,7 mm, respectivamente, de acordo com a estação convencional do Inmet, o jornal O Liberal noticiou que o extremo de precipitação ocorrido no dia 15, foi o maior em 70 anos, batendo o recorde do mês de abril sendo que ela começou às 5h30 e terminou às 10h da manhã e ainda coincidiu com a maré alta às 9h da manhã, além da Sesan dizer que as chuvas no mês de abril não ultrapassarem os 100 mm, de um período analisado de 1931-1999 e quando isso ocorreu não chegou aos 120 mm (SESAN..., 2000). Nesse sentido, percebe-se que o evento em questão gerou inúmeros transtornos para a população como perdas materiais, de dignidade, de educação e do seu direito de ir e vir, como mostra a figura 12. Desse modo, a causa desses extremos de precipitação foi o estacionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é caracterizada pela concentração de nuvens carregadas que descem do hemisfério norte (SESAN..., 2000).

Em seguida, como a linha do tempo, o dia 25/04/2005, a cidade de Belém registrou o maior volume de chuva dos últimos 100 anos que foi de 200,8 mm, a princípio os meteorologistas tinham previsto uma chuva de baixa intensidade de 60 mm, mas foram surpreendidos pela quantidade e intensidade do fenômeno, e acreditavam que a causa foi a ZCIT

(INTENSIDADE..., 2005). No entanto, a causa foi o deslocamento das massas de ar frias vindas do sul da América do sul, próximo da Argentina, e ao colidir com as altas temperaturas e umidade do clima amazônico e da cidade de Belém, teve como resultado essa grande quantidade de chuvas que durou 17h (A MAIOR..., 2005). Além disso, como prejuízo a chuva invadiu as principais vias da cidade como Tv. Francisco Caldeira Castelo Branco, Perebebuí, Mauriti, Alcindo Cacela, partes da Avenida José Malcher, Magalhães Barata e Duque de Caxias, gerando engarrafamentos, perdas dos veículos, eletrodomésticos boiando, protestos na Avenida Visconde de Inhaúma e no Tapanã, e 47 pedidos de ajuda para o Corpo de Bombeiros (BELÉM..., 2005; A MAIOR..., 2005).

Ademais, no dia 07/08/2010 choveu em Belém 72,4 mm, de acordo com a estação convencional do INMET, e foi por mais de duas horas provocando alagamento, transtornos no trânsito e uma casa em uma vila, no bairro do Umarizal, caiu o muro (CHUVA..., 2010). Por conseguinte, no dia 19/02/2011 a cidade sofreu com a chuva de 115 mm e, por coincidir com a maré alta, os canais da cidade acabaram transbordando provocando alagamentos em diversos pontos da cidade (TEMPORAL..., 2011).

Além disso, no dia 09/07/2012 choveu em Belém 75,3 mm e combinada com ventos fortes (famoso vendaval) a chuva durou meia hora, mas foi o suficiente para derrubar duas árvores, atingir veículos e bar o bairro mais atingido foi o da Pedreira onde esses eventos ocorreram (TEMPORAL..., 2012). Outro extremo climático, ocorreu no dia 15/04/2015 em que choveu 81,2 mm e foi muito intensa com ventania e relâmpagos e durou 20 minutos, foi suficiente para alagar a cidade e uma das principais vias da cidade que é a av. Almirante Barroso (CHUVA..., 2015).

Por fim, a linha do tempo mostra que o ano de 2020 registrou três extremos climáticos de precipitação, dois no mês de março (dias 09 e 12) e um no mês de novembro (dia 23), segundo o Inmet, choveu 195,6 mm e 124 mm, respectivamente, nos dias do mês de março e 157,8 mm no dia do mês de novembro. Nesse sentido, a cidade registrou, no mês de março, alagamentos e transtornos no trânsito e criou um gabinete de crise, pois havia decretado “situação de emergência”, a causa do extremo de precipitação foi a zona de convergência intertropical (ALAGAMENTOS..., 2020). Por conseguinte, o extremo que ocorreu no dia do mês de novembro superou a média histórica (127,4 mm) de todo o mês, os bairros mais afetados foram Terra Firma, Reduto e Sacramento e teve como causa a interferência do fenômeno La Niña (CHUVA..., 2020).

Portanto, percebe-se que as mudanças climáticas estão acentuando a frequência e intensidade dos fenômenos meteorológicos (ENOS e ZCIT) ocasionando, cada vez mais presente, os eventos extremos que, no caso da cidade de Belém, tem como principal impacto de imediato a intensidade das chuvas que ficam maiores e mais grossas provocando alagamentos e inundações na cidade, fazendo com que os cidadãos percam bens materiais e fiquem mais expostos a perda de suas vidas.

A variabilidade climática natural (incluindo o fenômeno El Niño) pode resultar em impactos climáticos e meteorológicos extremos, mas a mudança climática está levando a mudanças na frequência, intensidade, extensão espacial, duração e tempo dos extremos meteorológicos e climáticos. Às vezes, esses impactos podem ser sem precedentes. As mudanças climáticas já estão afetando todas as regiões habitadas do mundo, com a influência humana contribuindo para muitas mudanças observadas no clima e nos extremos climáticos (IPCC AR6-SPM apud OMM).

Desse modo, entende-se que as mudanças climáticas estão alterando o clima urbano de Belém e o próprio Sistema Climático Urbano da cidade, assim como qualquer outro SCU, está se adaptando/autorregulando a medida que os cidadãos e gestores intervêm na estrutura urbana da cidade e isso, também, é motivo da causa dos extremos climáticos na cidade. Além disso, no que tange aos impactos de extremos de diários de temperatura, não foi encontrado em nenhuma publicação de jornal do Centur, mas sabe-se que esses extremos ocorrem e os impactos estão relacionado ao desconforto térmico em áreas com pouca cobertura vegetal, a formação de ilhas de calor, em áreas com alto fluxo de pessoas e veículos, e a ocorrência de doenças respiratórias. Por fim, o próximo capítulo fala sobre as conclusões dessa pesquisa.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação analisou a ocorrência de eventos climáticos extremos em Belém-PA entre 1990 e 2023, identificando suas tendências, fatores influenciadores e impactos socioambientais. Os resultados indicam que esses eventos estão se tornando mais frequentes e intensos, o que pode estar relacionado a uma combinação de variabilidades climáticas naturais, processos de urbanização desordenada e mudanças no uso do solo. A análise revelou que os impactos desses eventos vêm crescendo ao longo das últimas décadas, especialmente devido à expansão da malha urbana e à modificação do ambiente natural da cidade.

Os eventos extremos de precipitação diária mostraram-se mais recorrentes, influenciados pelas características climáticas da cidade, pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pelos fenômenos El Niño e La Niña. A presença desses sistemas meteorológicos intensifica episódios de chuvas extremas, resultando em alagamentos e inundações, que afetam diretamente a mobilidade urbana, além de gerar prejuízos materiais para a população. A análise das séries temporais demonstrou que, em períodos de El Niño, algumas precipitações atingiram volumes acima da média esperada, desafiando as normais climatológicas estabelecidas. Já durante episódios de La Niña, a irregularidade dos volumes pluviométricos gerou impactos diferenciados na dinâmica hídrica da cidade, potencializando períodos de seca e reduzindo a eficiência dos sistemas de drenagem urbana.

Da mesma forma, os extremos diários de temperatura apresentaram variações significativas em relação às normais climatológicas históricas, atingindo desvios de até 7,4°C. Esse fenômeno está associado tanto a fatores regionais e globais quanto às mudanças na paisagem urbana de Belém, como a substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, o que altera o balanço de energia local e favorece a formação de ilhas de calor. Como consequência, o desconforto térmico e o aumento de doenças respiratórias são impactos diretos na qualidade de vida da população. A urbanização acelerada de Belém, sem planejamento adequado para a conservação de áreas verdes e espaços de ventilação natural, tem ampliado o efeito da urbanização sobre o clima local, intensificando a sensação térmica elevada em determinados períodos do ano.

Ao examinar os dados históricos do clima de Belém nos últimos 100 anos, observou-se que eventos extremos já ocorriam, mas de maneira mais esporádica e menos intensificada. No passado, as ocorrências eram mais espaçadas no tempo, enquanto atualmente os padrões identificados sugerem que esses eventos estão se tornando uma tendência climática, reforçando a necessidade de estratégias eficazes de adaptação e mitigação. A análise comparativa com

períodos anteriores demonstra que há um aumento gradativo das temperaturas médias e dos volumes de precipitação intensa, evidenciando que a cidade passa por um processo de alteração de seu clima, possivelmente relacionado à interação entre fatores globais e locais.

A pesquisa também evidenciou a falta de preparo da cidade para lidar com esses eventos extremos, resultado de um planejamento urbano ineficiente e da ausência de políticas públicas voltadas para a resiliência climática. Além disso, a análise de reportagens e registros mostrou que os episódios analisados não foram amplamente reconhecidos como eventos climáticos extremos pela mídia ou pelas autoridades locais, o que demonstra a invisibilização desse problema. A falta de obras e medidas preventivas reforça a necessidade de ações governamentais mais efetivas para reduzir os impactos desses eventos sobre a população. A ausência de registros formais e de campanhas de conscientização pública sobre os efeitos dos extremos climáticos agrava a situação, uma vez que a percepção social do problema permanece limitada, dificultando a adoção de medidas preventivas em larga escala.

Diante desse cenário, a presente dissertação contribui para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas regionais e da urbanização desordenada sobre os extremos climáticos em Belém, fornecendo subsídios para futuras pesquisas e para a formulação de políticas públicas voltadas à adaptação urbana e à mitigação dos efeitos das variações climáticas. A ampliação de estudos que considerem a modelagem climática para projeções futuras e a avaliação de diferentes cenários de mitigação e adaptação se mostra essencial para que a cidade desenvolva estratégias mais eficazes no enfrentamento desses desafios. Nesse sentido, recomenda-se que futuras pesquisas incorporem abordagens interdisciplinares, combinando geotecnologias e modelagens climáticas para aprofundar a compreensão sobre a evolução dos eventos extremos na Amazônia urbana.

Por fim, espera-se que este estudo sirva como um alerta para a necessidade de um planejamento urbano mais sustentável, que leve em consideração os impactos das alterações climáticas e que incorpore estratégias voltadas para a resiliência ambiental e a segurança da população. A implementação de infraestrutura verde, o fortalecimento dos sistemas de monitoramento meteorológico e a conscientização da população sobre os riscos climáticos emergentes são medidas fundamentais para enfrentar os desafios impostos pelos eventos climáticos extremos em Belém.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFINAL, o que são eventos climáticos extremos? Disponível em:

<https://valor.globo.com/brasil/noticia/2024/05/08/afinal-o-que-sao-eventos-climaticos-extremos.ghml>

ALAGAMENTOS em Belém não são causados só pela forte chuva e maré alta. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2020/03/12/alagamentos-em-belem-nao-sao-causados-so-pela-forte-chuva-e-mare-alta-diz-especialista-entenda.ghml>

A MAIOR chuva em 100 anos. **O Liberal**, Belém-PA, 26 de abril de 2005. Atualidades, p.5

AMORIM, M. C. C. T. **O clima urbano de Presidente Prudente/SP**. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-26122022-144828/> Acesso em: 10 mar. 2025.

ARAÚJO, A.N. **Análise Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari - AP:** Subsídios ao Planejamento Ambiental. Tese de Doutorado. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, UFPA. 2019

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. Rio De Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. Bases conceituais em Climatologia Geográfica. **Mercator**, vol. 08, nº 16, 2009. p. 255-261.

BELÉM passa domingo debaixo d'água. **O Liberal**, Belém-PA, 25 de abril de 2005. Atualidades, p.5

BELÉM sofre maior chuva em 100 anos. **O Liberal**, Belém-PA, 26 de abril de 2005. Atualidades, p.5-6

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas:** fundamentos, desenvolvimento e aplicação. Petrópolis: Vozes, 1975.

BRAGA, Roberto. **Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da Cidade**. VI Encontro Nacional da Anppas. Belém, 2012.

BRASIL, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretarias de Políticas e Programas de Pesquisas e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação, 2016.

CARDOSO, J.E. LUZ, L.M. MARINHO. A. **A variabilidade climática da precipitação em bacias urbanas da cidade de Belém-PA**. In: SILVA, C.N. [et al]. Organizadores. Belém dos 400 Anos: Análises Geográficas e Impactos Antropogênicos na Cidade. 1º ed. Belém: GAPTA/UFPA, 2016. ISBN: 978-85-63117-32-8.

CARPENEDO, C. LIMA, M. Padrões Climáticos dos Extremos Chuvosos em Uberlândia – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 31, Jul. / Dez. 2022, ISSN 2237-8642.

CHIZZOTTI, A. (2006). **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 8a ed.. São Paulo: Cortez.

CHUVAS vão castigar Belém até maio. **O Liberal**, Belém-PA, 3 de março de 1999. Atualidades, p.9.

CHUVAS transformam as ruas em rios na baixada do Marco. **O Liberal**, Belém-PA, 18 de março de 2000. Cidades, p.6

CHUVA mergulha Belém no caos. **O Liberal**, Belém-PA, 7 de agosto de 2010. P.1

CHUVA volta a mergulhar Belém no caos. **O Liberal**, Belém-PA, 15 de abril de 2015. Cidades, p.5

CHUVA atinge capital e deixa ruas alagadas na noite de domingo. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2020/11/23/chuva-atinge-capital-e-deixa-ruas-de-belem-alagadas-na-noite-domingo.ghtml>

CHRISTOFFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Bluncher, 1999.

CONTI, J. B. **Considerações Sobre Mudanças Climáticas Globais**. In: SANT'ANNA NETO e ZAVATINI. Organizadores. Variabilidade e Mudanças Climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. ISBN: 85-85545-61-5

DIAS, L. C. VALENTE, A. M. FERNANDES, L. L. Análise e correlação de variáveis climatológicas com os fenômenos climáticos e a urbanização na Cidade de Belém, no Estado do Pará, região Norte do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n.8, e 972986790, 2020. (CC BY 4.0). ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsdv9i8.6790>.

ELY, D. F. **Teoria e método da climatologia geográfica brasileira: uma abordagem sobre seus discursos e práticas**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2006

EMBRAPA, **Amazônia Oriental. Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos**. Fevereiro, 2002. ISSN 1517-2201

FARIAS, G. B. L. **Cidade, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: um estudo na Região Metropolitana de Belém**. Dissertação (mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2012.

INMET. **Fortes Chuvas em Atingem Belém-Pa**. Nota Técnica. 2020. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/nota_tecnica_fortes_chuvas_belem_mar%C3%A7o_2020.pdf

INTENSIDADE surpreende meteorologista. **Diário do Pará**, Belém-PA, 25 de Abril de 2005. Cidades, p.4

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.
KARL, T. R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: workshop summary. **Climatic Change**, n. 42, p. 3-7, 1999.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. ISBN 85-87755-03-X

LIMA, M. P.; CARPENEDO, C. B. Eventos extremos secos em Uberlândia-MG e circulação atmosférica associada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 158-180, 2020.
<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.70256>

LUZ, L. M *et al.* **Estudos antropogênicos no sítio urbano de Belém-PA**. In: SILVA, C.N. [et al]. Organizadores. Belém dos 400 Anos: Análises Geográficas e Impactos Antropogênicos na Cidade. 1º ed. Belém: GAPTA/UFPA, 2016. ISBN: 978-85-63117-32-8.

MADRUGADA chuvosa castigou a cidade. **O Liberal**, Belém-PA, 2 de fevereiro de 1994. Dia-a-Dia, p. 1.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. In: United Nations Climate Change Conference, Copenhagen. Mudanças Climáticas e Eventos Extremos no Brasil, Rio de Janeiro: FBDS, p. 4-19, 2009

MENDONÇA, F. DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. ISBN: 978-85-86238-54-3.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo, IGEOG/USP, 1975

MORADOR da Terra Firme deixa os móveis suspensos até sexta. **O Liberal**, Belém-PA, 18 de março de 2000. Cidades, p.7.

NAS. **Attribution of extreme weather events in the context of climate change**. Washington, DC:National Academies Press, 2016

NASCIMENTO, D.T.F. LIMA, L.V.V. CRUZ, V.P. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia-GO. **Cadernos de Geografia**. n.57, v.29, 2019.

OBREGÓN, G.O. **O Clima da Amazônia: Principais Características**. In: BORMA e NOBRE. Organizadores. Secas na Amazônia: Causas e Consequências. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. ISBN 978-85-7975-078-6

PIMENTEL, F. O. **Clima Urbano: O Uso de Modelos Geoespaciais na Investigação do Comportamento Térmico em Juiz de Fora - MG**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

RIBEIRO, R. et al. Análise da Tendência Climática nas Séries Temporais de Temperatura e Precipitação de Tucuruí-Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol.07, n.05 (Número Especial- VIWMCRHPE) (2014) 798-807.

RODRIGUES, J. E. C. **O Clima e o tempo na Amazônia**. 1. ed. Belém: Estudos Amazônicos, 2012. v. 1. 52p.

TEMPORAL de 6 horas afunda Belém. **O Liberal**, Belém-PA, 7 de agosto de 2010. Cidade, p.9.

TEMPORAL causa estragos em Belém. **O Liberal**, Belém-PA, 9 de julho de 2012. Cidades, p.9

SANT'ANNA NETO, J. L. Clima Urbano como Construção Social: Da Vulnerabilidade Polissêmica das Cidades Enfermas ao Sofisma Utópico das Cidades Saudáveis. **Revista Brasileira De Climatologia**. v 8. 2011 <https://doi.org/10.5380/abclima.v8i0.25794>

SANTOS, M.R.S. **O clima e a vulnerabilidade socioambiental**: interações na região costeira da Amazônia. Tese de Doutorado. UFPA, 2017.

SANTOS, T. V. **Fronteiras de Papel**: uma análise da perspectiva metropolitana em planos diretores da Região Metropolitana de Belém. Dissertação (mestrado). Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, UFPA. 2010.

SESAN responsabiliza o tempo. **O Liberal**, Belém-PA, 18 de março de 2000. Cidades, p. 6.

SILVA, R.O.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SOUZA, W.M. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. **Eng. Sanit. Ambient.** V.22, n.3, maio/jun, 2017, 579-589.

SILVA JUNIOR, F. P. CHAVES, S. V. V. Desastres Naturais no Brasil: Um Estudo Acerca dos Extremos Climáticos nas Cidades Brasileiras. **Revista da Academia de Ciências do Piauí**, Volume 2, Número 2, p. 47-62, Janeiro/Junho, 2021. ISSN: 2675-9748
DOI:10.29327/261865.2.2-4

SOARES, L.P. **Caracterização Climática do Estado do Ceará com Base nos Agentes da Circulação Regional Produtores dos Tipos de Tempo**. Dissertação (Mestrado). Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará. 2015

STOTT, P. A. et al. Attribution of extreme weather and climate-related events. **WIREs Clim Change** 2016, v. 7:23–41. doi: 10.1002/wcc.380

STOTT, P. A, *et al.* **Attribution of weather and climate-related extreme events**. In: Monograph: 'Climate Science for Serving Society: Research, Modelling and Prediction Priorities. Position Paper for WCRP OSC. Accepted as part of monograph of position papers. Dordrecht, Netherlands: Springer; 2013, 307–337.

TRINDADE JUNIOR, S. C. Cidades na floresta: os “grandes objetos” como expressões do meio técnico-científico informacional no espaço amazônico. **Revista IEB**. n.30, 2010, setembro/março, p.113-138.

UMMENHOFER, C.C; MEEHL, G.A. Extreme weather and climate events with ecological relevance: a review. *Phil. Trans. R. Soc. B*37220160135. 2017.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0135>

VALE, C.C. Teoria Geral do Sistema: Histórico e Correlações com a Geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**. n-6, 2012, segundo semestre de 2012, p.85-108.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Extreme Weather**. Disponível em: <https://wmo.int/topics/extreme-weather>. Acesso em: 05 nov. 2024.