



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANTONIO FERREIRA LIMA JÚNIOR

**CLIMA URBANO: ANÁLISE DO CAMPO TÉRMICO E SUGESTÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS**

FORTALEZA
2023

ANTONIO FERREIRA LIMA JÚNIOR

CLIMA URBANO: ANÁLISE DO CAMPO TÉRMICO E SUGESTÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L696c Lima Júnior, Antonio Ferreira.

Clima Urbano : análise do campo térmico e sugestão de áreas prioritárias para
implementação de medidas mitigadoras / Antonio Ferreira Lima Júnior. – 2023.
261 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de
Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Maria Elisa Zanella.

1. Clima Urbano. 2. Campo Térmico. 3. Análise Espacial. 4. Áreas de Mitigação. I. Título.

CDD 910

ANTONIO FERREIRA LIMA JÚNIOR

CLIMA URBANO: ANÁLISE DO CAMPO TÉRMICO E SUGESTÃO DE ÁREAS
PRIORITÁRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental.

Aprovada em: 14/07/2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Elisa Zanella (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Dra. Isabel Lavrador Ribeiro
Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)

Aos meus pais, por serem o alicerce
dessa jornada chamada vida.

.

AGRADECIMENTOS

Expressar gratidão pode ser considerado o gesto mais nobre que um indivíduo pode realizar. Demonstrar reconhecimento significa relembrar a sua própria trajetória, o percurso e todas as pessoas e circunstâncias que contribuíram para o desfecho de uma história. Este espaço é reservado a todos aqueles que, de alguma maneira, desempenharam um papel nessa jornada.

À minha família, em especial aos meus pais, Antonio Ferreira Lima e Maria Vanderlea de Oliveira Lima, por serem os maiores exemplos de vida. Agradeço pelo amor e confiança depositados em mim, o homem que sou só existe por vocês e para vocês. Agradeço às minhas irmãs, Viviane e Liliane, aos meus amados sobrinhos, Victória, Juan Pedro, Giselle e Davi, vocês fazem parte da minha história, e essa conquista também é de vocês.

Ao meu companheiro Leonardo Moreira, por não soltar a minha mão, mesmo eu sendo insuportável em meio às crises existenciais de ansiedade. Obrigado por sempre acreditar em mim, mesmo quando nem eu mesmo acreditei, obrigado por não me deixar desistir, obrigado por ser a pessoa feita sob medida pra mim. Essa tese é fruto do seu incentivo e amor.

Não posso esquecer dos meus queridos amigos, Samuel, Letícia, Raina e Carol, presentes que a Geografia me deu. Sou grato pelos 10 anos de amizade (e contando), por todas as experiências e trocas de conhecimentos, vocês foram fundamentais. À minha amiga Larissa Neris, pela oportunidade dada e confiança depositada, sua inteligência e dedicação me inspiram todos os dias. À Jéssica Freitas, por seu cuidado, doçura e atenção, sua amizade é valiosa. Aos amigos da vida, meu muito obrigado, Isadora, João Lucas, Rosueti, Yago, Lucas, Mayara e Brenna.

Agradeço a minha querida Orientadora, Elisa Zanella, por todos os ensinamentos nesses quase 10 anos de jornada. Desde a graduação sou privilegiado por tê-la como exemplo de professora, pesquisadora e mulher, onde suas qualidades transbordam as barreiras acadêmicas. Obrigado por sua atenção, ensinamentos e imensa generosidade.

À estimada Professora Marta Celina, que além de integrar a comissão avaliadora, foi a primeira pessoa a me conceder uma oportunidade acadêmica. Ela não apenas atuou como minha orientadora, mas também me presenteou com

conversas enriquecedoras, afeto, amizade e valiosos ensinamentos. Neste momento, gostaria de expressar minha profunda gratidão a ela.

Agradeço aos membros da banca avaliadora, Verônica Castelo Branco, Antonio Carlos da Silva Oscar Júnior e Isabel Lavrador Ribeiro, por aceitarem o convite, pela disponibilidade e considerações, que somam e enriquecem o trabalho desenvolvido.

Presto agradecimentos ao Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), em especial ao Dr. Jorge Amorim e à Dra. Isabel Ribeiro, pela valiosa parceria, que viabilizou a execução deste trabalho. Agradeço também às pessoas envolvidas durante à campanha de coleta de dados, que possibilitaram a instalação dos equipamentos em suas propriedades. Cris, Isadora, Maia, Mariana, Silvinha, Karina, Gabi, Écio, Mari, Eliana, Hanna, Verani e Andrea, meus sinceros agradecimentos.

Aos membros do laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH/UFC), pelo acolhimento e suporte a esta pesquisa, em especial à Mairla Gomes, pela ajuda essencial nos trabalhos de campo e construção dos abrigos para os termo-higrômetros.

Agradeço à sociedade que em mim investiu, à Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-graduação em Geografia, pela excelência e suporte, em especial à coordenação, gratidão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Da sabedoria logica do Édipo em Colono o Homem desse possível futuro deverá fruir não apenas da resignação da velhice mas da possibilidade de atingir um lugar para sua morada que seja aquela cidade, mãe que engendra sem devorar e inventa sem esquecer” (MONTEIRO, 1992, p. 45).

RESUMO

Esta pesquisa partiu da hipótese de que entender o campo térmico do município de Fortaleza, resulta em informações pertinentes a serem utilizadas em ações de planejamento da cidade. Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho foi indicar áreas prioritárias para implementação de medidas mitigadoras, tendo em vista o diagnóstico do campo térmico da cidade de Fortaleza, em associação com as características de superfície. Para cumprir o objetivo proposto, foi realizada uma análise estatística dos componentes climáticos da cidade de Fortaleza, através do teste de Mann-Kendall e Pettitt, que avaliam a tendência de alteração de série de dados. A metodologia utilizada para compreender a relação entre a ocupação da superfície e o clima urbano foi o Urban Climatic Map, utilizando informações georreferenciadas no software ArcGIS para produzir mapeamentos e modelos de classificação do clima urbano. Foram realizadas campanhas meteorológicas através de sensores fixos, onde foram analisados gráficos e mapas de espacialização térmicos. Através de método de autocorrelação espacial (Índice de Moran), foi possível identificar agrupamentos espaciais homogêneos, identificando as áreas mais amenas e aquecidas da cidade. O UCMMap revela que grande parte da cidade de Fortaleza está inserida em um contexto de elevação do impacto climático urbano, devido ao alto volume edificado e as características construtivas utilizadas, no entanto a proximidade com o mar, a presença de vegetação e corpos hídricos, faz com que haja alto potencial dinâmico em diversas áreas da cidade. A análise do campo térmico demonstrou que a periferia da cidade de Fortaleza (noroeste, oeste e sudeste) registra os maiores valores de temperatura do ar, tanto no período seco como na quadra chuvosa, enquanto estruturas verdes, como o Parque do Cocó são ilhas de frescor no ambiente citadino. Foram identificados clusters de autocorrelação espacial, tanto para o UCMMap como para os dados de temperatura do ar, onde mais uma vez a região noroeste/oeste apresentou situação desfavorável, enquanto o leste da cidade está sob um maior potencial dinâmico. Sendo assim, os bairros da Regional 1 e o Centro são os que precisam ser priorizados na implementação de ações e medidas mitigadoras dos efeitos térmicos adversos.

Palavras-chave: análise espacial; geoestatística; áreas de mitigação; Fortaleza.

ABSTRACT

This research was based on the hypothesis that understanding the thermal field of the municipality of Fortaleza yields relevant information to be used in city planning actions. Therefore, the main objective of this work was to indicate priority areas for the implementation of mitigating measures, considering the diagnosis of the thermal field of the city of Fortaleza in association with surface characteristics. To achieve the proposed objective, a statistical analysis of the climatic components of the city of Fortaleza was performed using the Mann-Kendall and Pettitt tests, which assess the trend of data series alteration. The methodology employed to understand the relationship between surface occupation and urban climate was the Urban Climatic Map, using georeferenced information in ArcGIS software to produce mappings and models of urban climate classification. Meteorological campaigns were carried out through fixed sensors, and thermal spatialization graphs and maps were analyzed. Through a spatial autocorrelation method (Moran's Index), it was possible to identify homogeneous spatial groupings, pinpointing the milder and warmer areas of the city. The UCMaP reveals that a significant portion of Fortaleza is immersed in a context of increased urban climate impact due to high building volume and construction characteristics. However, proximity to the sea, the presence of vegetation, and water bodies contribute to a high dynamic potential in various areas of the city. Thermal field analysis demonstrated that the outskirts of Fortaleza (northwest, west, and southeast) record the highest air temperature values in both dry and rainy seasons, while green structures like Parque do Cocó serve as cool islands in the urban environment. Clusters of spatial autocorrelation were identified for both the UCMaP and air temperature data, once again highlighting an unfavorable situation in the northwest/western region, while the eastern part of the city exhibits greater dynamic potential. Therefore, neighborhoods in Regional 1 and the City Center need to be prioritized for the implementation of actions and measures to mitigate adverse thermal effects.

Keywords: spatial analysis; geostatistics; mitigation areas; Fortaleza.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Gráfico o de taxa de urbanização brasileira	23
Figura 2	– Mapa de localização do município de Fortaleza/CE	24
Figura 3	– Escalas analíticas do clima urbano	29
Figura 4	– Alterações climáticas produzidas pelas cidades em comparação com ambientes rurais	30
Figura 5	– Transecto generalizado de uma ilha de calor urbana típica	34
Figura 6	– Tipos de ilha de calor	37
Figura 7	– Classificação simplificada de formas urbanas dispostas de ordem decrescente de sua capacidade de impactar o clima local	41
Figura 8	– Estudos aplicando o UCMMap ao redor do mundo	42
Figura 9	– Estrutura do UCMMap	43
Figura 10	– UCMMap de Hong Kong	44
Figura 11	– Estrutura do UCMMap de Kaohsiung, Taiwan	45
Figura 12	– Estudos aplicando o UCMMap no Brasil	46
Figura 13	– Metodologia de trabalho do UCMMap	51
Figura 14	– Processo de construção do mapa de carga térmica	58
Figura 15	– Processo de produção do mapa de potencial dinâmico	58
Figura 16	– Processo de construção do UCMMap	59
Figura 17	– Termo higrômetro HOBO MX2301A	60
Figura 18	– Abrigo de PVC para os termo higrômetros	61
Figura 19	– Representação da matriz de vizinhança utilizada (Queen)	64
Figura 20	– Mapa da divisão administrativa (Regionais-SR) de Fortaleza/CE .	66
Figura 21	– Temperaturas médias mensais de Fortaleza (1966 – 2019)	68
Figura 22	– Temperaturas mínimas médias mensais de Fortaleza (1966 - 2019)	68

Figura 23	–	Temperaturas máximas médias mensais de Fortaleza (1966 - 2019)	68
Figura 24	–	Umidade relativa do ar mensal de Fortaleza (1966 – 2019)	69
Figura 25	–	Precipitação média mensal de Fortaleza (1966 – 2019)	70
Figura 26	–	Velocidade média mensal do vento em Fortaleza (1966 – 2019) .	71
Figura 27	–	Evolução da ocupação urbana no município de Fortaleza/CE	73
Figura 28	–	Densidade populacional do município de Fortaleza	74
Figura 29	–	Mapa de gabarito das edificações de Fortaleza/CE	75
Figura 30	–	Temperatura média anual em °C (1966 – 2019)	78
Figura 31	–	Temperatura máxima média anual em °C (1966 – 2019)	79
Figura 32	–	Temperatura mínima média anual em °C (1966 – 2019)	80
Figura 33	–	Umidade relativa do ar média mensal em porcentagem (1966 - 2019)	81
Figura 34	–	Velocidade média anual em metros por segundo (1966 – 2019) ...	81
Figura 35	–	Precipitação anual acumulada em milímetros (1966 – 2019)	82
Figura 36	–	Resultados do valor de Z do teste de Mann-Kendall	86
Figura 37	–	Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura média anuais.....	87
Figura 38	–	Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura média mensais	89
Figura 39	–	Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura máxima média anuais	90
Figura 40	–	Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura mínima média anuais	91
Figura 41	–	Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura máxima média mensais	92

Figura 42	– Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura mínima média mensais	93
Figura 43	– Resultado do teste de Pettitt para os valores de umidade relativa do ar anuais	94
Figura 44	– Resultado do teste de Pettitt para os valores de umidade relativa do ar mensais	96
Figura 45	– Resultado do teste de Pettitt para os valores de velocidade do vento anuais	97
Figura 46	– Resultado do teste de Pettitt para os valores velocidade do vento mensais	98
Figura 47	– Resultado do teste de Pettitt para os valores de precipitação pluviométrica anuais	99
Figura 48	– Resultado do teste de Pettitt para os valores de precipitação pluviométrica mensais	100
Figura 49	– Mapa de volume edificado da cidade de Fortaleza	103
Figura 50	– Distribuição das classes de volume edificado de Fortaleza/CE	104
Figura 51	– Mapa de altimetria do município de Fortaleza/CE	105
Figura 52	– Distribuição das classes de altimetria de Fortaleza/CE	106
Figura 53	– Mapa de espaços verdes do município de Fortaleza/CE	108
Figura 54	– Distribuição das classes de espaços verdes de Fortaleza/CE	109
Figura 55	– Mapa de cobertura do solo do município de Fortaleza/CE	110
Figura 56	– Distribuição das classes de cobertura do solo de Fortaleza/CE ...	112
Figura 57	– Mapa de vegetação de baixo porte do município de Fortaleza/CE	113
Figura 58	– Distribuição das classes de paisagens naturais de Fortaleza/CE .	114
Figura 59	– Mapa de proximidade à corpos hídricos no município de Fortaleza/CE	115
Figura 60	– Mapa de declividade do município de Fortaleza/CE	116

Figura 61	– Mapa de proximidades do município de Fortaleza/CE	118
Figura 62	– Distribuição das classes de proximidades de Fortaleza/CE	119
Figura 63	– Mapa de carga térmica do município de Fortaleza/CE	120
Figura 64	– Distribuição das classes de carga térmica de Fortaleza/CE	121
Figura 65	– Mapa de potencial dinâmico do município de Fortaleza/CE	123
Figura 66	– Distribuição das classes de potencial dinâmico de Fortaleza/CE .	124
Figura 67	– Sobreposição e reclassificação das camadas e valores para o UCMaP	125
Figura 68	– Mapeamento Climático Urbano (UCMaP) do município de Fortaleza/CE	126
Figura 69	– Distribuição das classes do UCMaP do município de Fortaleza/CE	127
Figura 70	– UCMaP da Regional 1 de Fortaleza	128
Figura 71	– UCMaP da Regional 2 de Fortaleza	130
Figura 72	– UCMaP da Regional 3 de Fortaleza	131
Figura 73	– UCMaP da Regional 4 de Fortaleza	133
Figura 74	– UCMaP da Regional 5 de Fortaleza	134
Figura 75	– UCMaP da Regional 6 de Fortaleza	136
Figura 76	– UCMaP da Regional 7 de Fortaleza	138
Figura 77	– UCMaP da Regional 8 de Fortaleza	140
Figura 78	– UCMaP da Regional 9 de Fortaleza	141
Figura 79	– UCMaP da Regional 10 de Fortaleza	143
Figura 80	– UCMaP da Regional 11 de Fortaleza	144
Figura 81	– UCMaP da Regional 12 de Fortaleza	146
Figura 82	– Localização geográfica dos pontos de coleta de dados	150

Figura 83	– Caracterização da área de entorno no ponto do Álvaro Weyne (raio de 1 km)	152
Figura 84	– Caracterização da área de entorno no ponto do Bairro de Fátima (raio de 1 km)	154
Figura 85	– Caracterização da área de entorno no ponto do Bom Jardim (raio de 1 km)	156
Figura 86	– Caracterização da área de entorno no ponto do Meireles (raio de 1 km)	158
Figura 87	– Caracterização da área de entorno no ponto da Messejana (raio de 1 km)	159
Figura 88	– Caracterização da área de entorno no ponto do Mondubim (raio de 1 km)	161
Figura 89	– Delimitação geográfica do Parque Estadual do Cocó	163
Figura 90	– Visão aérea do Parque Estadual do Cocó	164
Figura 91	– Caracterização da área de entorno no ponto do Parque do Cocó (raio de 1 km)	165
Figura 92	– Caracterização da área de entorno no ponto da Paupina (raio de 1 km)	167
Figura 93	– Caracterização da área de entorno no ponto do Pici (raio de 1 km)	169
Figura 94	– Caracterização da área de entorno no ponto do Vila Velha (raio de 1 km)	171
Figura 95	– Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (novembro)	174
Figura 96	– Gráfico da temperatura média do mês de novembro para os diferentes pontos de coleta de dados	175
Figura 97	– Gráfico da temperatura máxima média do mês de novembro para os diferentes pontos de coleta de dados	176

Figura 98	– Gráfico da temperatura mínima média do mês de novembro para os diferentes pontos de coleta de dados	177
Figura 99	– Mapa das temperaturas médias mensais do mês de novembro de 2021	178
Figura 100	– Médias horárias de temperatura do mês de novembro (00h – 11h)	180
Figura 101	– Médias horárias de temperatura do mês de novembro (12h – 23h)	181
Figura 102	– Acumulado de precipitação diária para o mês de dezembro de 2021	182
Figura 103	– Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (dezembro)	183
Figura 104	– Gráfico da temperatura média do mês de dezembro para os diferentes pontos de coleta de dados	184
Figura 105	– Gráfico da temperatura máxima média do mês de dezembro para os diferentes pontos de coleta de dados	185
Figura 106	– Gráfico da temperatura mínima média do mês de dezembro para os diferentes pontos de coleta de dados	186
Figura 107	– Mapa das temperaturas médias mensais do mês de dezembro de 2021	187
Figura 108	– Médias horárias de temperatura do mês de dezembro de 2021 (00h – 11h)	189
Figura 109	– Médias horárias de temperatura do mês de dezembro de 2021 (12h – 23h)	190
Figura 110	– Acumulado de precipitação diária para o mês de janeiro de 2022	191
Figura 111	– Sistemas atmosféricos atuantes em janeiro de 2022	192
Figura 112	– Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (janeiro)	193

Figura 113 – Gráfico da temperatura média do mês de janeiro para os diferentes pontos de coleta de dados	194
Figura 114 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de janeiro para os diferentes pontos de coleta de dados	195
Figura 115 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de janeiro para os diferentes pontos de coleta de dados	196
Figura 116 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de janeiro de 2022	198
Figura 117 – Médias horárias de temperatura do mês de janeiro de 2022 (00h – 11h)	199
Figura 118 – Médias horárias de temperatura do mês de janeiro de 2022 (12h – 23h)	200
Figura 119 – Acumulado de precipitação diária para o mês de fevereiro de 2022	201
Figura 120 – Instabilidade causada pela ZCIT durante o mês de fevereiro	202
Figura 121 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (fevereiro)	203
Figura 122 – Gráfico da temperatura média do mês de fevereiro para os diferentes pontos de coleta de dados	204
Figura 123 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de fevereiro para os diferentes pontos de coleta de dados	205
Figura 124 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de fevereiro para os diferentes pontos de coleta de dados	206
Figura 125 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de fevereiro de 2022	207
Figura 126 – Médias horárias de temperatura do mês de fevereiro de 2022 (00h – 11h)	209
Figura 127 – Médias horárias de temperatura do mês de fevereiro de 2022 (00h – 11h)	210

Figura 128 – Acumulado de precipitação diária para o mês de março de 2022	211
Figura 129 – Atuação da ZCIT durante o mês de março de 2022 em Fortaleza	212
Figura 130 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (março)	213
Figura 131 – Gráfico da temperatura média do mês de março para os diferentes pontos de coleta de dados	214
Figura 132 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de março para os diferentes pontos de coleta de dados	215
Figura 133 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de março para os diferentes pontos de coleta de dados	216
Figura 134 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de março de 2022	217
Figura 135 – Médias horárias de temperatura do mês de março de 2022 (00h – 11h)	218
Figura 136 – Médias horárias de temperatura do mês de março de 2022 (12h – 23h)	219
Figura 137 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global do Mapeamento Climático Urbano de Fortaleza	222
Figura 138 – Clusters dos bairros para o Mapeamento Climático Urbano	223
Figura 139 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de novembro	225
Figura 140 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de novembro de 2021	226
Figura 141 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de dezembro	227
Figura 142 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de dezembro de 2021	228
Figura 143 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de	229

	temperatura do mês de janeiro	
Figura 144	– Clusters dos bairros para as temperaturas médias de janeiro de 2022	230
Figura 145	– Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de fevereiro	231
Figura 146	– Clusters dos bairros para as temperaturas médias de fevereiro de 2022	233
Figura 147	– Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de março	234
Figura 148	– Clusters dos bairros para as temperaturas médias de março de 2022	235
Figura 149	– Camada UCMaP reclassificada	240
Figura 150	– Camada da temperatura do ar reclassificada	242
Figura 151	– Esquema de construção do Mapa de Indicação de Áreas Prioritárias para Implementação de Ações de Mitigação aos Efeitos Climáticos	243
Figura 152	– Mapa de Indicação de Áreas Prioritárias para Implementação de Ações de Mitigação aos Efeitos Climáticos	245

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Gráfico o de taxa de urbanização brasileira	35
Tabela 2	– Síntese das recomendações para mitigação de ilhas de calor ...	39
Tabela 3	– Fontes de dados cartográficos	52
Tabela 4	– Descrição das camadas de carga térmica	119
Tabela 5	– Descrição das camadas de potencial dinâmico	122
Tabela 6	– Matriz de valores atribuídos a cada quadrante	238

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASAS	Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
DOL	Distúrbios Ondulatórios de Leste
EÑOS	El Niño-Oscilação do Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	Inverse Distance Weighting
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LI	Linha de Instabilidade
LISA	Índices Locais de Autocorrelação Espacial
mEa	Massa Equatorial Atlântica
NDWI	Normalized Difference Water Index
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Physiological Equivalent Temperature
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SEFIN	Secretaria Municipal das Finanças
SEGER	Secretaria Municipal de Gestão Regional
SIG	Sistema de Informação Geográfico
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UCMap	Urban Climatic Map
UCZ	Urban Climate Zone
UFC	Universidade Federal do Ceará
USGS	United States Geological Survey
UTM	Urchin Tracking Module
UTZ	Urban Terrain Zone
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Inter Tropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1	A natureza do clima urbano	27
2.2	As ilhas de calor urbanas	33
2.3	Modelos de representação do clima urbano	40
2.3.1	<i>Urban Climatic Map (Mapa Climático Urbano)</i>	42
3	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	48
3.1	Análise temporal	48
3.1.1	<i>Teste de Mann-kendall</i>	48
3.1.2	<i>Teste de Pettitt</i>	50
3.2	UCMap	51
3.2.1	<i>Descrição das etapas de construção das camadas</i>	52
3.2.1.1	<i>Mapa de volume edificado</i>	52
3.2.1.2	<i>Mapa de espaços verdes</i>	53
3.2.1.3	<i>Mapa de altimetria</i>	54
3.2.1.4	<i>Mapa de cobertura do solo</i>	55
3.2.1.5	<i>Mapa de vegetação rasteira</i>	55
3.2.1.6	<i>Mapa de proximidades e espaços abertos</i>	56
3.2.1.7	<i>Mapa de análises climáticas</i>	57
3.3	Coleta e tratamento dos dados de temperatura do ar	59
3.4	Índice Global e Local de Moran	62
4	O LÓCUS DA PESQUISA	65
4.1	Caracterização climática	67
4.2	Urbanização	72
5	ANÁLISE ESTATÍSTICA DA EVOLUÇÃO DO CLIMA DE FORTALEZA	78
6	URBAN CLIMATIC MAP DA CIDADE DE FORTALEZA	102
6.1	Camada 1: mapa de volume edificado	102
6.2	Camada 2: mapa de altimetria	104
6.3	Camada 3: mapa de espaços verdes	106

6.4	Camada 4: mapa cobertura do solo	109
6.5	Camada 5: mapa de vegetação de baixo porte	112
6.6	Camada 6: mapa de proximidades	114
6.7	Mapa de carga térmica	119
6.8	Mapa de potencial dinâmico	122
6.9	Mapa de análises climáticas de Fortaleza/CE	124
8	REGISTRO E TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO	149
8.1	Coleta de dados de temperatura do ar	149
8.1.1	<i>Álvaro Weyne</i>	150
8.1.2	<i>Bairro de Fátima</i>	152
8.1.3	<i>Bom Jardim</i>	154
8.1.4	<i>Meireles</i>	156
8.1.5	<i>Messejana</i>	158
8.1.6	<i>Mondubim</i>	160
8.1.7	<i>Parque do Cocó</i>	162
8.1.8	<i>Paupina</i>	166
8.1.9	<i>Pici</i>	168
8.1.10	<i>Vila Velha</i>	170
8.2	Análise do campo térmico da cidade de Fortaleza	172
8.2.1	<i>Novembro de 2021</i>	173
8.2.2	<i>Dezembro de 2021</i>	182
8.2.3	<i>Janeiro de 2022</i>	191
8.2.4	<i>Fevereiro de 2022</i>	201
8.2.5	<i>Março de 2022</i>	211
9	ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E ÁREAS PRIORITÁRIAS	221
9.1	Autocorrelação espacial do Mapeamento Climático Urbano	222
9.2	Autocorrelação espacial dos dados de temperatura do ar	224
10	INDICAÇÃO DE ÁREAS PRIRITÁRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES DE MITIGAÇÃO DOS EFEITOS CLIMÁTICOS	237
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS	247
	REFERÊNCIAS	252

1 INTRODUÇÃO

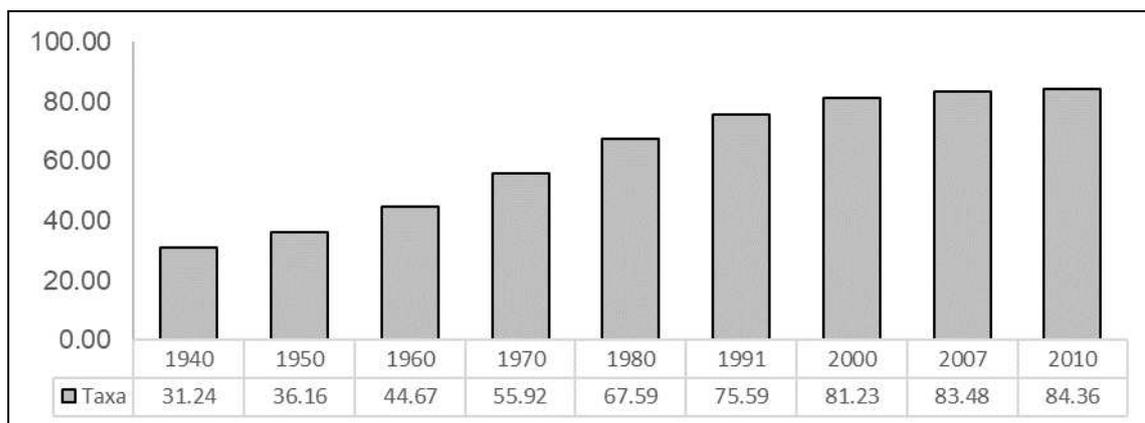
No decorrer dos últimos séculos, a humanidade experienciou diversas modificações ambientais decorrentes de processos econômicos, sociais e políticos, que propiciaram alterações significativas na superfície do planeta Terra. Dentre os elementos ambientais, o clima apresenta destaque em relação às mudanças verificadas nos últimos tempos. O aumento da temperatura global, a mudança no regime pluviométrico e a qualidade de recursos dependentes do clima, são problemáticas em destaque nos fóruns globais, sendo foco de diversos estudos em todo o mundo.

O aumento da população mundial ocasiona maior demanda por bens e serviços, que gera implicações diretas sobre a natureza. Devido ao modelo de vida ao qual a maioria da sociedade está inserida, as cidades e centros urbanos concentram a maior parte da população mundial. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), cerca de 55% da população mundial vive em áreas urbanas, sendo que, para 2050 a expectativa é que esta proporção aumente para 70%. Dentre as preocupações da ONU em relação ao aumento da quantidade de cidadãos, estão as mudanças climáticas e a produção de alimentos.

O Brasil acompanha esse padrão mundial de crescimento das cidades, onde, segundo o IBGE, 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas. De acordo com os dados dos censos demográficos realizados pelo IBGE, desde a década de 1940, o Brasil apresenta constante crescente em sua taxa de urbanização, que era de 31.24 em 1940 e passou a ser 84.36 em 2010.

Santos (1993) aponta que entre as décadas de 1960 a 1980 as cidades brasileiras apresentaram um aumento de cinquenta milhões de habitantes, ou seja, um número quase equivalente à população total em 1950. Entre 1980 e 1990 a população do país apresentou elevação de 26%, enquanto a população urbana aumentou mais de 40%, revelando que, desde 1960 o Brasil passa por um processo de urbanização intenso. Verifica-se então, que o crescimento da população urbana no Brasil foi 50,1% em 60 anos, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Gráfico o de taxa de urbanização brasileira



Fonte: IBGE, 2010.

Como resultado da aceleração do processo de urbanização que ocorreu a partir da década de 1960, é possível destacar as marcas ambientais e socioeconômicas, devido ao crescimento acelerado e ausência de planejamento eficiente. É nítido que, os cidadãos sofrem com as diversas alterações no meio urbano, que influenciam diretamente no conforto ambiental, no qual a criação e manutenção de um clima diferenciado é um elemento primordial de avaliação.

Para Amorim (2011), todos os elementos que interferem no equilíbrio entre a superfície e a atmosfera, como a retirada da vegetação, a rugosidade, a densidade e volume das edificações e a geometria urbana, além das funções econômicas e sociais que circundam o modelo de desenvolvimento da cidade, afetam diretamente o funcionamento dos elementos climáticos urbanos. Portanto, a transformação da paisagem do sítio urbano é uma condicionante importante para a análise do clima das cidades.

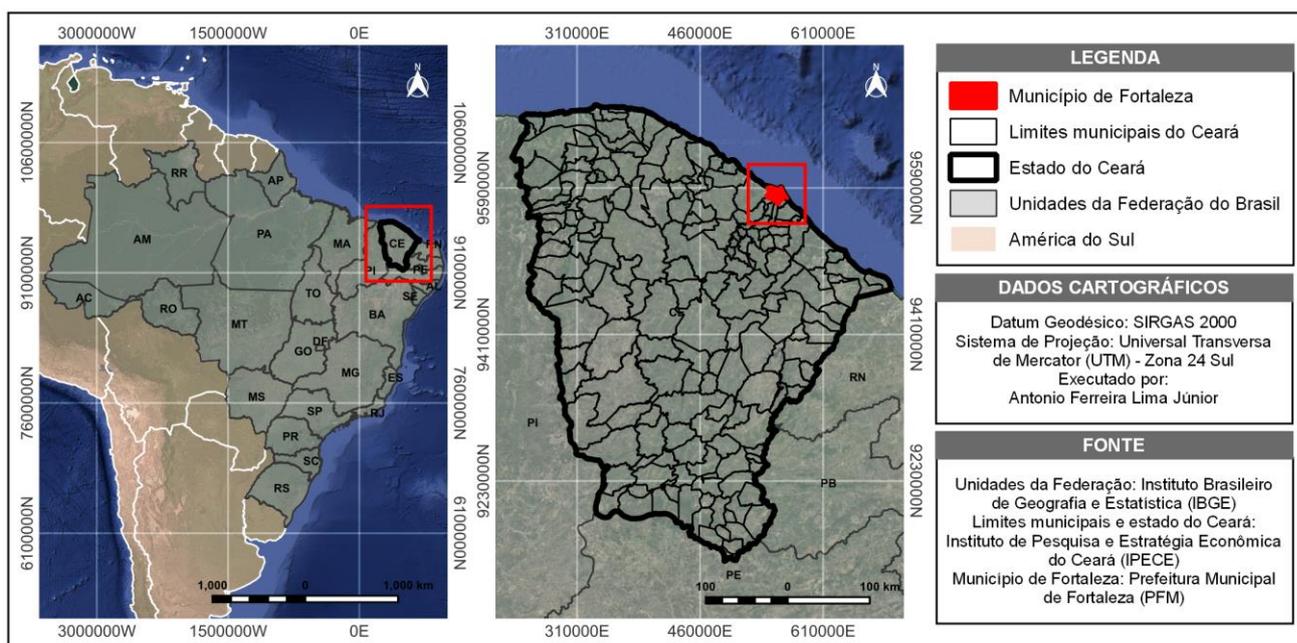
A literatura indica que para uma análise precisa do clima urbano é necessário analisar os elementos que formam a superfície da cidade em suas diferentes camadas: a cobertura do solo e seus diferentes materiais, a tipologia das edificações, a presença ou ausência de vegetação, a proximidade de espaços que interferem no potencial dinâmico, a geometria da cidade, entre outros (OKE, 1978; KATZSCHNER, 1997; SANTAMOURIS, 2001; GRIMMOND, 2007; STEWART & OKE, 2009).

Sabendo da deficiência no monitoramento microclimático das áreas urbanas, uma alternativa é a aplicação de modelos de representação do clima urbano. Esses modelos avaliam as condicionantes urbanas que tem influência direta

nos microclimas da cidade e ponderam sua relevância e nível de interferência para o aquecimento ou arrefecimento da atmosfera urbana. Esses modelos associados a medições *in locus* podem representar as condições climáticas da cidade, dando suporte para diversos estudos e estratégias de planejamento. Existem diversas metodologias de representação e classificação do clima urbano, porém para esta pesquisa optou-se por adotar a metodologia elaborada por Katzschner (1997), o *Urban Climatic Map* (UCMap).

Para a aplicação das metodologias, foi escolhida a cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, localizado no Nordeste do Brasil (Figura 2). A escolha se deu devido as características particulares da cidade em relação à estrutura urbana e localização geográfica, inserida em um contexto de clima tropical costeiro.

Figura 2 – Mapa de localização do município de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

Fortaleza apresenta uma série de problemas de descaracterização e degradação de seus componentes ambientais, que modificaram/modificam a paisagem da cidade, comprometendo a qualidade de vida dos cidadãos. A alteração do clima natural da cidade faz parte dessa problemática. Maia et al. (1996) apontou uma diminuição da velocidade do vento de 3m/s em áreas urbanizadas, enquanto Xavier (2001) observou a regressão de 50% da taxa da velocidade média do vento.

Moura (2007) e Moura & Zanella (2012) apontam um aquecimento do ar

local na cidade de Fortaleza, provocado principalmente pelos processos de urbanização. No perímetro intraurbano do município, a ilha de calor urbana apresenta amplitude superior a 5°C, sendo os setores sudoeste, oeste, noroeste e central da cidade os mais aquecidos (MOURA, 2008).

Para entender a configuração atual das condições climáticas urbanas da cidade, se fez necessário realizar campanhas de coleta de dados meteorológicos (temperatura e umidade) em períodos representativos, de acordo com as características climáticas de escala superior, tendo como base o período seco e período chuvoso, característicos do clima de Fortaleza.

Neste sentido, partiu-se da hipótese de que entender o campo térmico do município de Fortaleza, resulta em informações pertinentes a serem utilizadas em ações de planejamento da cidade, tendo em vista os aspectos e particularidades do clima tropical em zonas costeiras. Acredita-se na hipótese que, modelos de representação do clima urbano (*Urban Climatic Map*) são fundamentais na compreensão do fenômeno, tendo correlação direta com os elementos urbanos e variáveis meteorológicas, servindo de critério de uniformização e padronização para as características do uso e ocupação do solo, onde associado aos dados coletados *in situ* são capazes de indicar áreas prioritárias da cidade para receber ações e medidas mitigadoras dos efeitos adversos do clima.

O objetivo geral desta pesquisa foi diagnosticar o campo térmico da cidade de Fortaleza e indicar áreas prioritárias para implementação de medidas mitigadoras.

Para tanto, os objetivos específicos são:

- 1) Verificar a evolução estatística das variáveis ligadas ao campo termodinâmico da cidade de Fortaleza/CE.
- 2) Compreender, através dos modelos de classificação do clima urbano, a dinâmica do uso e ocupação da superfície na cidade.
- 3) Analisar o padrão espacial e intensidade do campo térmico urbano no município de Fortaleza.
- 4) Identificar aglomerados espaciais que indiquem condições de estresse térmico ou potencial dinâmico eminente.
- 5) Elaborar um mapeamento com indicação de bairros prioritários para a implementação de ações e medidas mitigadoras em relação ao campo térmico.

Sendo assim, a tese foi estruturada em 11 capítulos, passando pela contextualização do tema e objetivos na introdução, a fundamentação teórica que embasou a pesquisa, os procedimentos técnicos e metodológicos aplicados para responder aos objetivos da pesquisa, caracterização do lócus, e por fim os resultados obtidos e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Assumindo que a concepção acerca do fenômeno do clima urbano e seus diversos modelos de entendimento e classificação compreendem um contexto complexo, fez-se necessário um levantamento bibliográfico de temas pertinentes, são eles: a natureza do clima urbano, entendendo como a alteração do espaço modifica os elementos climáticos locais, as escalas complexas e os estudos clássicos e contemporâneos realizados; o fenômeno das ilhas de calor, assumindo esta como um indicador primordial para a compreensão do clima na cidade; e modelos de representação do clima urbano, no que se refere as diretrizes conceituais que estabelecem parâmetros para classificar o clima da cidade e as variáveis envolvidas no processo de desenvolvimento de climas locais.

2.1 A natureza do clima urbano

O espaço urbano é compreendido como parte de um amplo processo histórico e social, de caráter dinâmico e concreto, produto da necessidade do capital e da sociedade como um todo (PENNA, 2002). Dentre as diversas consequências que envolvem os processos de urbanização, estão a apropriação e modificação dos aspectos físicos e naturais que integram o sítio urbano, que pode ser encarado, segundo Newman (1999), como um ecossistema.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (United Nations Organization), cerca de 54% da população mundial vive em áreas urbanas (ONU, 2017), sendo estimado que em 2050 essa população citadina ultrapasse os 66%, alcançando os seis bilhões de habitantes. Entende-se que o crescimento desordenado das cidades pode gerar problemas de diversas ordens. A modificação substancial da cobertura do solo, a descaracterização da paisagem, e a alteração da composição físico-química da atmosfera urbana podem gerar problemas ambientais que comprometam a qualidade de vida da população urbana.

Essas alterações são capazes de afetar o clima em diversas escalas, gerando frequentemente resultados negativos, sendo esses impactos constantemente revisados pela mídia, pelas agendas políticas nacionais e internacionais, e sobretudo pelas diversas áreas do conhecimento, como Meteorologia, Arquitetura e Geografia (BRANDÃO, 2009). De maneira geral, os

principais elementos responsáveis pela geração de um clima diferenciado nas áreas urbanas são a impermeabilização do solo, a utilização de materiais construtivos inadequados, a retirada da cobertura vegetal original, a emissão de poluentes na atmosfera, dentre outros (AMORIM, 2011).

Para Oke (1987) cabe a climatologia urbana estudar os estados atmosféricos mais frequentes no ambiente urbano, tendo em vista suas características fundamentais. Para termos de síntese e definição, é possível citar Landsberg (1956; 1981), que define o clima urbano sendo a modificação substancial do clima local, tendo em vista a comparação com condições climáticas dos espaços circunvizinhos, apresentando uma maior quantidade de calor e modificações na atmosfera e elementos climáticos, como temperatura, umidade do ar e ventilação.

Na concepção de Chandler (1965) o clima urbano é resultado da substituição de materiais rurais, como campos, fazendas e grandes áreas arborizadas, por materiais urbanos, principalmente tendo em vista os materiais construtivos como concreto, tijolo, metal e vidro. Essa alteração de materiais gera modificações na paisagem, afetando a troca aerodinâmica, térmica e hidrológica local, alterando as propriedades da atmosfera urbana.

É possível expressar a natureza do clima urbano através de uma equação matemática, na qual os elementos climáticos urbanos seriam o resultado da adição de diferentes camadas em diversos contextos, como é possível ver a seguir (LOWRY, 1977, p. 130):

$$M_{itx} = C_{itx} + L_{itx} + E_{itx}$$

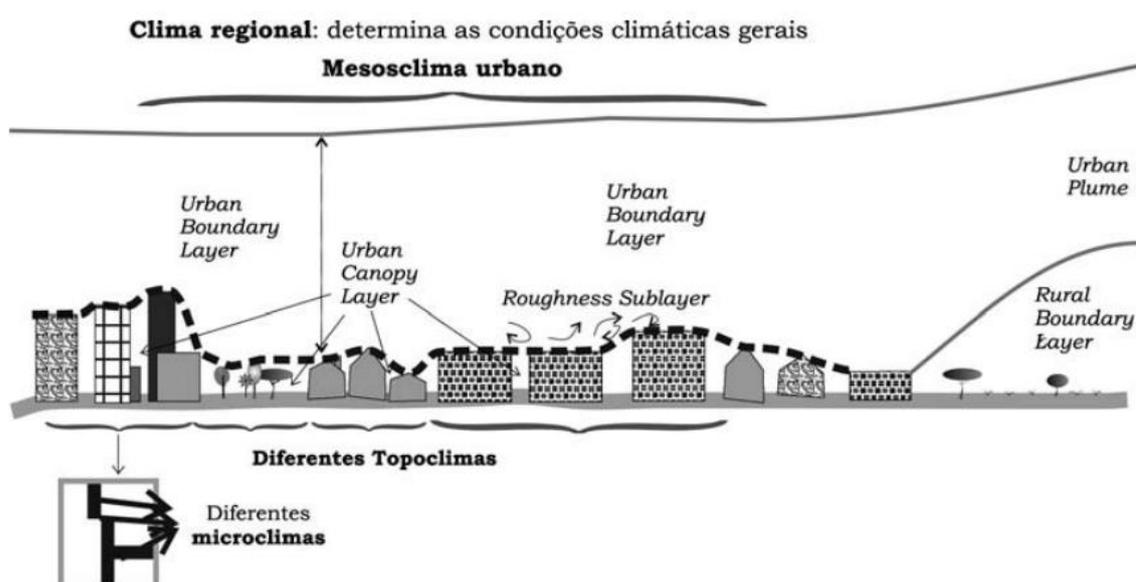
Os valores dos elementos meteorológicos são considerados somas de três componentes: o clima em escala superior que corresponde a C, os efeitos da paisagem local representado por L e os efeitos da urbanização local E. M é o valor medido de um elemento meteorológico (temperatura, umidade, vento...), dado o tipo de tempo (i), durante um período de tempo (t), e x sendo o local urbano representado. Entendendo o clima da cidade como uma interação direta entre fatores urbanos, clima regional e meio físico do sítio urbano.

Moran e Portelli (1987) relatam que dentro de uma perspectiva abrangente em relação as escalas espaciais em climatologia, os fenômenos urbanos se integram à mesoescala, constatando uma variação no que se refere as dimensões dos fenômenos climáticos urbanos. Essa variação, de acordo com Wanner e Felliger (1989) pode percorrer entre a mesoescala e a microescala.

A delimitação dos diferentes níveis escalares na perspectiva urbana e suas zonas de influência é indicada por Andrade (2005), que define as diferentes escalas, com dimensões, com o objetivo de melhorar a compreensão acerca desses conceitos, mesmo não adotando limites e dimensões rígidas.

Na Figura 3 é possível perceber que, compreendendo vários climas locais, a cidade está inserida em um contexto mesoclimático, que corresponde ao *Urban Boundary Layer*, frisando a importância de inserir o clima urbano em um contexto climático de escala superior, considerando as características e fenômenos atmosféricos regionais e de macroescala. O topoclima ou clima local é caracterizado como uma área de combinação de elementos, correspondendo a tipologias e padrões de uso e ocupação do solo urbano, sendo possível afirmar que, um topoclima corresponde ao conjunto de microclimas, que se repetem com certa regularidade, apresentando padrões de elementos urbanos ou ambientais. Portanto, a influência dos elementos urbanos individuais e seus arranjos elementares geram diferentes microclimas, cujo a zona de influência pode chegar até algumas centenas de metros, interferindo restritamente à camada dossel urbana (*urban canopy layer*), que é limitada pelo topo das edificações e estruturas urbanas e naturais.

Figura 3 – Escalas analíticas do clima urbano



Fonte: ANDRADE, 2005.

Lowry (1977) aponta que o clima urbano varia na escala de tipo de tempo (i), sendo determinado antes de tudo pela circulação e fatores atmosféricos de

escala superior, os quais condicionam a variabilidade espacial dos elementos climáticos dentro da cidade. Entende-se que sob fluxo sinótico intenso, as particularidades locais são em parte suprimidas, e dependendo de condições atmosféricas específicas (vento fraco e pouca nebulosidade), os efeitos topo e microclimáticos conduzem as condições climáticas da atmosfera inferior, entendendo que uma mesma estrutura urbana possa responder de maneiras diferenciadas sob diferentes tipos de tempo (LANDSBERG, 1981), o que evidencia a necessidade de compreender o contexto climático da cidade e estudá-la em diferentes condições sinóticas, seja pelas diferenciações térmicas (em ambientes subtropicais e temperados) ou pluviométricas em ambientes tropicais onde a variabilidade é conduzida pelo regime das chuvas.

Sant'Anna Neto (2013) afirma que os fatores geográficos que influenciam no clima, assumem na escala local, importância crescente, uma vez que o relevo, a existência ou não de corpos hídricos e vegetação é latente para exercer influências nas características nas zonas locais dos climas regionais. Sendo assim, o autor elabora três níveis de análises espaciais: zonal, regional e local, os quais interagem entre e si caracterizando o clima das cidades.

Landsberg (1981, p. 258) sintetiza as diferenças entre os elementos climáticos no ambiente urbano e rural (Figura 4).

Figura 4 – Alterações climáticas produzidas pelas cidades em comparação com ambientes rurais.

Climatic Alterations Produced by Cities			
Element	Compared to rural environs	Element	Compared to rural environs
Contaminants:		Temperature:	
condensation nuclei	10 times more	annual mean	0.5–3.0°C more
particulates	10 times more	winter minima (average)	1–2°C more
gaseous admixtures	5–25 times more	summer maxima	1–3°C more
Radiation:		heating degree days	10% less
total on horizontal surface	0–20% less	Relative humidity:	
ultraviolet, winter	30% less	annual mean	6% less
summer	5% less	winter	2% less
sunshine duration	5–15% less	summer	8% less
Cloudiness:		Wind speed:	
clouds	5–10% more	annual mean	20–30% less
fog, winter	100% more	extreme gusts	10–20% less
summer	30% more	calm	5–20% more
Precipitation:			
amounts	5–15% more		
days with <5 mm	10% more		
snowfall, inner city	5–10% less		
lee of city	10% more		
thunderstorms	10–15% more		

Fonte: LANDSBERG, 1981 (Adaptado).

De maneira geral, a síntese de Landsberg retrata uma maior concentração de partículas e gases poluentes (que variam de 5 a 25 vezes o encontrado em ambientes rurais), redução da radiação solar (cerca de 20% a menos), diminuição da incidência de radiação ultravioleta (5 a 15% a menos), temperaturas médias anuais mais elevadas (até 3°C mais quente), umidade relativa do ar mais baixa (variando de 2 a 8%), velocidades dos ventos até 30% mais baixas e calmarias (sem vento) até 20% mais frequentes.

A partir dessa compreensão prévia das nuances e especificidades do clima urbano, é necessário o desenvolvimento de metodologias que abracem as necessidades epistemológicas e técnicas para a investigação desse fenômeno. É nesse sentido que é possível destacar a importância do trabalho de Monteiro (1976) para o desenvolvimento das pesquisas em climatologia urbana no Brasil.

No Brasil, os primeiros estudos tratando sobre o clima urbano foram desenvolvidos em meados dos anos 70, por Gallego (1972) e Monteiro (1976), com o intuito de subsidiar o planejamento urbano. Foi nesse período que Carlos Augusto Figueiredo Monteiro elabora o SCU. (Sistema Clima Urbano) baseado na Teoria Geral dos Sistemas – TGS de Bertalanffy (1995). Monteiro construiu a proposição teórico-metodológica do SCU, com o objetivo de nortear a elaboração de diagnósticos climáticos/ambientais, propondo ações para solucionar estes problemas citadinos, constituindo uma importante contribuição nacional aos estudos de climatologia urbana (MENDONÇA, 2003).

O SCU constitui-se em um sistema aberto, sendo essencial levar em consideração os fatores geradores de energia externos e internos, tendo em vista o homem e sua ação dinâmica sobre a produção e reprodução do espaço citadino (LIMA; PINHEIRO; MENDONÇA, 2012). O clima de uma cidade compreende uma organização complexa e sistêmica, com diversos níveis de hierarquia funcional e de resolução, os quais são divididos em três subsistemas, que de acordo com o SCU, os subsistemas são o termodinâmico, hidrometeorológico e físico-químico.

O subsistema termodinâmico tem como canal de percepção humano o conforto térmico, que está relacionado diretamente com as condições térmicas, higrométricas e com a ventilação urbana. O subsistema hidrometeorológico é percebido pelo ser humano através dos impactos meteorológicos na superfície urbana, ou seja, como a precipitação afeta a vida das sociedades citadinas. Por fim, o subsistema físico-químico tem como canal de percepção a qualidade do ar, considerando

principalmente as condições da atmosfera urbana.

Em relação aos componentes termodinâmicos do clima (subsistema utilizado nesta pesquisa), é possível destacar sua importância no nível fundamental da resolução climática, convergindo e se associando a todos os outros componentes:

Dentro do esquema do S.C.U., esse canal atravessa toda a sua estrutura, pois que é o insumo básico, é transformado na cidade e pressupõe uma produção fundamental no balanço de energia líquida atuante no sistema. O uso do solo, a morfologia urbana, bem como suas funções, estão intimamente implicadas no processo de transformação e produção (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003, p. 44).

Unindo a iminente preocupação com a qualidade de vida nos ambientes urbanos e o desenvolvimento de estudos a nível internacional e nacional, os trabalhos de clima urbano vêm ganhando notoriedade e avançando em níveis metodológicos. Além da bibliografia clássica apresentada nessa sessão, é possível destacar trabalhos contemporâneos que discutem a natureza do clima nas cidades e apresentam novas técnicas de análise e interpretação.

É possível destacar uma série de pesquisas (entre dissertações, teses, livros e artigos em periódicos) que discorrem sobre o tema e sua aplicabilidade em diversos campos, principalmente estudos térmicos, caracterização e análise de ilhas de calor e sensoriamento remoto aplicado, destacando: Moura, Zanella e Sales (2008); Viana e Amorim (2008); Gartland (2010); Collischonn e Mattos (2011); Leal (2012); Souza e Alvalá (2014); Amorim e Dubreuil (2016); Geletič, Lehnert e Dobrovolný (2016); Cardoso et. al (2017); Estoque, Murayama e Myint (2017).

Dentre os temas emergentes em climatologia urbana, estão os modelos de zoneamento e classificação do clima urbano, utilizando técnicas de coleta e classificação de dados georreferenciados, gerando mapas de classes climáticas locais para as cidades. Entre as principais metodologias, destacam-se o Mapeamento Climático Urbano, as Zonas Climáticas Locais e os modelos de Regressão para análise das ilhas de calor, descritos pelos seguintes autores: Katzschner (1997); Stewart e Oke (2009; 2012); Souza (2010); Ribeiro (2013); Amorim et. al (2015); Ng (2015); Zhongli e Hanqiu (2016); Xu et. al (2017); Assis e Ferreira (2018); Wang et al. (2018).

Apesar de serem internacionalmente difundidas, essas metodologias de classificação e interpretação do clima urbano foram pouco aplicadas em contextos

climáticos tropicais costeiros, havendo a necessidade de estudos que abarquem essas regiões específicas.

2.2 As ilhas de calor urbanas

As atividades humanas em geral, em especial a urbanização, acarretam modificações climáticas. Os níveis de escala local e micro são particularmente afetados por essas modificações, tendo em vista o potencial de emissão de gases poluentes na atmosfera urbana e também a modificação substancial da cobertura do solo (BALKESTÅHL, 2009), havendo assim uma necessidade em aproximar as esferas ambientais e políticas urbanas para responder e gerir a problemática climática urbana.

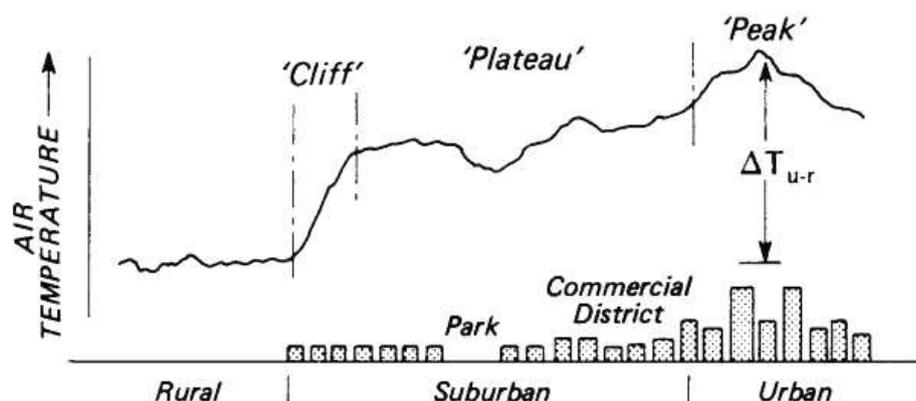
Na atualidade, de acordo com Dorigon (2019, p. 28), “a resposta climática mais reconhecida causada pelo desenvolvimento/crescimento urbano é o fenômeno das ilhas de calor”. Sendo assim, as ilhas de calor urbanas representam um dos objetos de estudo do subsistema termodinâmico (MONTEIRO, 1976). Vale salientar que, embora ainda seja um tema em constante investigação, este vem sendo discutido desde o século XIX, quando foram desenvolvidas investigações buscando interpretar o comportamento deste fenômeno.

Gartland (2010) levanta que a primeira documentação de ilha de calor urbana ocorreu em 1818 na cidade de Londres, onde foi detectado um excesso de calor artificial na cidade, em comparação com o campo. Esse relato embasa um conceito de ilha de calor urbana, que seria no contexto interurbano, “quando as alterações são obtidas pelo maior valor mensurado na cidade, relacionando com os valores encontrados nas franjas urbanas” (ESTEVÃO, 2016, p. 35), pois as alterações do ambiente físico geram diferenciações substanciais entre as áreas em termos comparativos.

García (1991) aponta que as ilhas térmicas urbanas consistem em cidades mais quentes que áreas rurais, sobretudo à noite. As áreas urbanas apresentam temperaturas mais elevadas, principalmente no centro da cidade, onde as construções e edificações formam um conjunto denso e compacto. O ar do dossel urbano é geralmente mais quente, quando comparado aos ambientes rurais em seus arredores (Figura 5), no entanto não é possível definir uma dimensão espacial e temporal para este fenômeno, devido sua grande variabilidade, causada por fatores

meteorológicos e urbanos, como cita Oke (1987, p. 288): “*The exact form and size of this phenomenon varies in time and space as a result of meteorological, locational and urban characteristics*”.

Figura 5 – Transecto generalizado de uma ilha de calor urbana típica.



Fonte: OKE, 1987.

Desta forma, constata-se a importância de comparar os aspectos interurbanos nos estudos das ilhas de calor, entretanto, não se pode descartar as diferenciações intraurbanas causadas pelos diversos processos de produção e reprodução do espaço geográfico dentro da cidade. Isso se deve a grande variedade de padrões construtivos, que se manifestam pela necessidade de ocupar a cidade em diferentes esferas sociais. Sobre essas diferenciações, é possível citar Barros (2016, p. 28):

Os elementos físicos antrópicos, materiais que compõe o mosaico das estruturas espaciais urbanas, a depender da característica de formação histórica-social e conjuntura territorial, apresentam grande potencial de diversidade espacial expressa nas densidades de construção, organização espacial das mesmas, materiais construtivos, morfologia e diferentes percentuais de áreas verdes por habitantes com distintos arranjos espaciais.

A interação entre as diversas estruturas urbanas com os elementos meteorológicos resulta em diferentes processos de troca de energia entre a superfície e a baixa atmosfera, “possibilitando a criação de um mosaico de microclimas locais” (BARROS, 2016, p. 29). É importante destacar que as diferenciações microclimáticas causadas pela urbanização, são amenizadas com a entrada de muita energia proveniente da atmosfera, ou seja, sobre influencia sinótica regional (como precipitação, alta nebulosidade e ventos velozes) as características locais são suprimidas. Já com tempo estável, com céu claro e vento calmo, ocorre a

máxima intensidade da ilha de calor, intensificando as diferenças microclimáticas (SANTAMOURIS et al., 2007).

Dorigon (2019) afirma que a formação das ilhas de calor é resultado da interação entre os aspectos naturais e urbanos, que está diretamente relacionada ao balanço de energia. A partir dessa concepção é possível destacar alguns aspectos naturais e antropogênicos que são relevantes nesse processo: tipos de tempo; presença de cobertura vegetal; relevo; características dos espaços construídos; e atividades humanas (AMORIM, 2017).

Para Che-Ani et al. (2009) e Rajagopalan et al. (2014), os fatores de origem e intensidade da ilha de calor urbana são de ordem meteorológicos (temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, nebulosidade...) e de geometria urbana (densidade das áreas urbanas, porcentagem de áreas construídas, cânions urbanos, fator de visão do céu, materiais construtivos e forma urbana).

Em relação aos elementos de geometria da cidade, Stewart (2011) relata ser uma estrutura complexa, composta por superfícies horizontais e verticais, com diferentes capacidades de absorção de radiação solar, o que influencia diretamente no albedo, no fluxo de ar e no armazenamento de calor. De maneira geral, as estruturas como asfalto e concreto, armazenam calor durante o dia e liberam lentamente durante a noite, fazendo com que os ambientes urbanos se encontrem mais aquecidos.

O albedo da superfície é a porção da radiação solar refletida pelos corpos na superfície, podendo ser medido em um índice que varia de 0 (baixo albedo) e 1 (alta reflexão). Os ambientes urbanos apresentam grandes variações de albedos em detrimento da forma como interagem com a radiação solar (Tabela 1).

Tabela 1 – Albedo de materiais urbanos

Superfície	Albedo
Asfalto	0.05 – 0.2
Paredes	
Concreto	0.10 – 0.35
Tijolo de cor clara	0.30 – 0.50
Coberturas	

Aço	0.35
Alumínio branco	0.80
Média	
Área urbana	0.15

Fonte: Santamouris (2001)

As superfícies com menores valores de albedo são as que mais absorvem calor, e conseqüentemente aquecem o entorno, oposto aos maiores valores, que possibilitam diminuição do calor no entorno, devido aos baixos índices de absorção. De maneira geral, a cidade apresenta um valor de albedo baixo, cerca de 0.15 de acordo com Santamouris (2001).

A troca de energia entre a superfície e a atmosfera inferior corresponde ao balanço de energia urbano, o qual depende de uma série de fatores e elementos, como: cor dos materiais, densidade, morfologia, pavimentação, vegetação, corpos hídricos e etc. Oke (1987) discorre sobre o balanço de radiação da superfície (Q^*), que é explicada pela combinação da troca convectiva ou da atmosfera, seja como calor sensível (Q_H) ou latente (Q_E), e condução de/ou para o solo (Q_G), como na equação a seguir:

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G$$

Dorigon (2019, p. 36) descreve que:

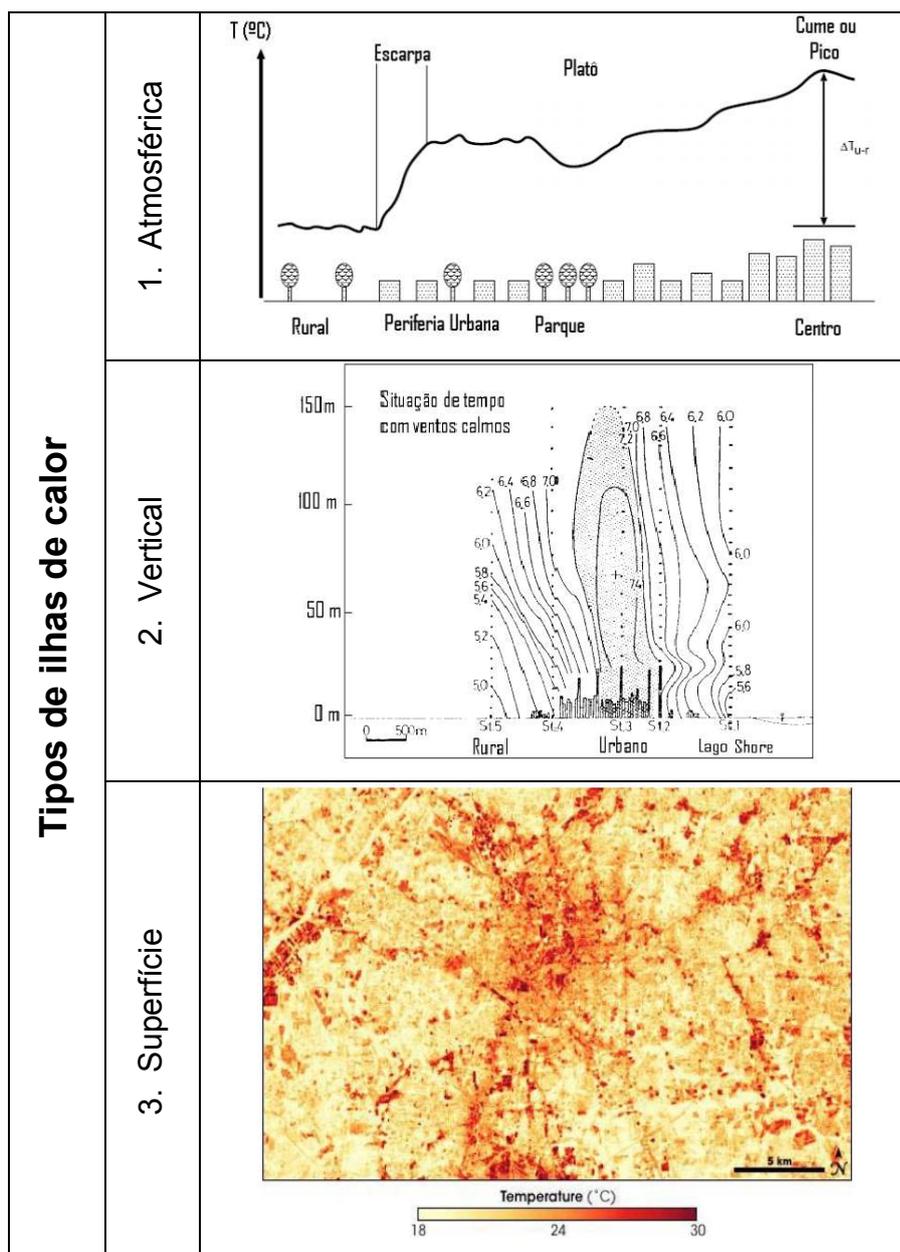
De forma resumida e didática, entende-se que o calor sensível é a energia dispersa no aquecimento ou resfriamento do ar e é transferido através de fluxos convectivos. Já o calor latente refere-se à energia que é usada na troca, entre a atmosfera e a superfície, para a mudança de estado da água, também transferido por convecção e por fim, o fluxo de calor no solo é identificado como a energia que vai aquecer ou resfriar o solo através de um fluxo condutivo e é dependente das propriedades térmicas dos materiais.

Esta fórmula consiste em uma estimativa tendo em vista a homogeneidade das superfícies, no entanto, a realidade dentro das áreas urbanas é diferente. Há então a necessidade de acrescentar outra variável na equação, o armazenamento distinto de energia (ΔQ_S), devido a alta complexidade apresentada pelo ambiente urbano, onde a absorção ou liberação de energia ocorre de maneira que a entrada e/ou saída de pelo menos um dos elementos individuais não acontece de maneira equilibrada.

$$Q^* = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S$$

Outro aspecto importante a se considerar, além da complexidade em sua natureza, são as diferentes formas em que se manifestam o fenômeno das ilhas de calor. Fialho (2009) assume a existência de 3 tipos de ilhas de calor (Figura 6), por reconhecer que os métodos de observação (medidas fixas ou móveis, balões atmosféricos e/ou imagens de satélite) e a estrutura espacial são muito distintas.

Figura 6 – Tipos de ilha de calor



Fonte: FIALHO, 2009 (Adaptado)

A ilha de calor atmosférica é resultado das modificações de certos parâmetros da camada basal da atmosfera, sendo que, tais alterações ocorrem por

meio das diferenças entre os tipos de usos do solo e da cobertura das paisagens. Para Fialho (2009, p. 64) “[...] pode-se definir que a cidade altera o ritmo de aquecimento e resfriamento da superfície em função do adensamento urbano, associado à atividade humana e as propriedades físicas dos materiais de construções”. De maneira geral, a ilha de calor atmosférica pode ser definida a partir da diferença da temperatura do ar observada dentro da área urbana (intraurbana) ou em comparação com áreas rurais. De acordo com o autor, uma das técnicas de observação da ilha de calor é o estudo das tendências, que pode ser feito a partir de uma estação meteorológica padrão inserida em uma cidade, ou pela comparação das tendências entre a cidade e o campo. Destaca-se a importância da aplicação de técnicas estatísticas de avaliação de tendências, para consolidar a significância estatística dos dados referidos.

Outra alternativa pode ser “[...] criar uma rede de monitoramento de pontos fixos dentro da área urbana [...]” (FIALHO, 2009, p. 65). Esse monitoramento pode ocorrer de diferentes maneiras, seja através de mini abrigos meteorológicos (termo higrômetros digitais por exemplo), que consiste em uma campanha de observação fixa, ou por meio de transectos móveis, que permite traçar um percurso aferindo dados climáticos dentro do perímetro urbano.

Fialho (2012) afirma que a camada limite urbana apresenta um perfil térmico vertical, que seria consequência do fluxo de calor sensível antropogênico, constituindo uma ilha de calor vertical. Essa interpretação é realizada a partir do conceito de Oke (1981) de camada limite da atmosfera urbana, que é determinada a partir das atividades humanas, que influenciam no processo convectivo. Geralmente é medida por torres meteorológicas, sensoriamento remoto ou aeronave.

Com o crescimento das tecnologias de teleinformática e o emprego de seus recursos nas pesquisas geográficas, o sensoriamento remoto aparece em lugar de destaque nos estudos de ordem ambiental, dentre eles a identificação e análise das ilhas de calor de superfície. Estevão (2016, p. 37) fala sobre a relação do sensoriamento remoto com o fenômeno da ilha de calor superficial:

Isto por que, as imagens orbitais possibilitam a extração e identificação de informações contidas nas imagens de satélite, onde em seguida, podem ser tratadas por meio de softwares especializados em análise, processamento e manipulação de imagens, e após a aplicação de técnicas inseridas no geoprocessamento, o resultado geralmente pode se dar em outra imagem, sendo possível a identificação de informações necessárias para o

desenvolvimento do estudo, contribuindo para uma melhor compreensão do comportamento da ilha de calor, para, por conseguinte, o desenvolvimento de estratégias para o convívio junto aos aspectos negativos causados por este fenômeno

A partir da identificação da tipologia da ilha de calor a ser estudada, é possível eleger as metodologias pertinentes para a realização do estudo, tendo em vista também a correlação com outras áreas de pesquisa, como: conforto térmico, qualidade ambiental, saúde pública, planejamento urbano e zoneamento.

Identificar e estudar as ilhas de calor urbanas são fundamentais para estabelecer diretrizes e fomentar planos de ação, que sejam capazes de amenizar os efeitos climáticos adversos. Gartland (2010) destaca que, a partir do emprego de diferentes estratégias, como coberturas e pavimentos frescos e o plantio de árvores e vegetação, é possível tornar os bairros mais saudáveis, esteticamente mais agradáveis, aumentando o conforto dos habitantes da cidade.

Siqueira-Gay, Dibo e Giannotti (2017) sintetizam as ações recomendadas para mitigação das ilhas de calor, a partir da análise da literatura científica, tendo em vista os elementos que compõe o espaço urbano e as medidas previstas nas diretrizes de planejamento das cidades. A Tabela 2, apresenta a síntese das principais recomendações encontradas na literatura para mitigação das ilhas de calor.

Tabela 2 – Síntese das recomendações para mitigação de ilhas de calor

Recomendações para mitigação de ilhas de calor	
<ul style="list-style-type: none"> • Implantação e conservação de espaços verdes, plantio de árvores e telhados verdes; • Preservação de corpos d'água. 	AKBARI & KOLOKOTSA (2016); GAGO et al. (2013); O'MALLEY et al. (2014).
<ul style="list-style-type: none"> • Design e forma urbana 	KLEEREKOPER et al. (2012).
<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de materiais com alta reflectância solar nas fachadas dos prédios, telhados e pavimentos. 	AFLAKI, MIRNEZHAD, GHAFFARIANHOSEINI, OMRANY, WANG & AKBARI (2016); GAGO et al. (2013) AFLAKI et al. (2016); AKBARI & KOLOKOTSA (2016); GAGO et al. (2013); O'MALLEY et al. (2014).

Fonte: Adaptado de Siqueira-Gay, Dibo e Giannotti (2017)

Amorim (2019) salienta duas questões importantes no entendimento da mitigação das ilhas de calor urbanas. A primeira, diz respeito às políticas públicas, e as necessidade de privilegiar a escala local do clima para maximizar a eficácia da mitigação das ilhas de calor urbanas. O outro questionamento está relacionado às diferentes condições de vulnerabilidade da população, para que tais políticas sejam efetivas para todos os segmentos da sociedade.

2.3 Modelos de representação do clima urbano

Na perspectiva da meteorologia e climatologia urbana, os primeiros estudos realizados, classificavam as áreas em apenas duas categorias: rural e urbana. Esta forma de classificação se constituía em um formato simples de trabalho, tendo em vista que os parâmetros climáticos eram comparados entre si, definindo assim a existência e amplitude de ilhas de calor. Esta forma de representação do clima urbano representa, de acordo com Oke e Stewart (2012), um método falho de apresentar e descrever uma área urbana e sua circunvizinhança.

Levando em consideração métodos mais elaborados de classificar o clima da cidade, é possível destacar o trabalho de Chandler (1965) como um dos primeiros a elaborar um sistema de classificação mais adequado para entender e investigar as ilhas de calor urbanas, a partir da regionalização de acordo com as altitudes, altura e materiais dos edifícios, distribuição de vegetação arbórea, parques e espaços abertos.

Stewart (2011) destaca os trabalhos de Ellefsen na década de 1990, elaborando um sistema denominado *Urban Terrain Zone* (UTZ). Ellefsen se baseou nas características morfológicas das construções, nas características dos materiais utilizados e nas vias de acesso em escala de bairro, realizando um esboço completo das plantas e dos perfis de cada uma dessas zonas. É possível notar que surge há necessidade de regionalizar os atributos climáticos urbanos, buscando entender a dinâmica desses elementos dentro da área da cidade, é nesse sentido que surgem diversos modelos de classificação do clima intraurbano.

Oke (2004) a partir do aprimoramento do trabalho de Ellefsen (1990) elaborou um novo modelo de classificação do clima urbano denominado *Urban Climate Zone* (UCZ), que tem como objetivo classificar e avaliar a capacidade urbana de influenciar o clima local, tendo em vista o monitoramento e

homogeneidade espacial de distribuição de pontos de coleta de dados, como ressalta o autor:

The importance of UCZ, is not their absolute accuracy to describe the site but their ability to classify areas of a settlement into districts, that are similar in their capacity to modify the local climate, and to identify potential transitions to different urban climate zones. Such a classification is crucial when beginning to set up an urban station so that the spatial homogeneity criteria are met approximately for a station in the UCL or above the RSL (OKE, 2004, p. 10).

Desta forma, o autor elaborou um esquema de classificação simplificada das diversas formas urbanas, hierarquizando sua capacidade de impactar o clima local, como é possível observar na Figura 7.

Figura 7 – Classificação simplificada de formas urbanas dispostas de ordem decrescente de sua capacidade de impactar o clima local.

Urban Climate Zone, UCZ ¹	Image	Roughness class ²	Aspect ratio ³	% Built (impermeable) ⁴
1. Intensely developed urban with detached close-set high-rise buildings with cladding, e.g. downtown towers		8	> 2	> 90
2. Intensely developed high density urban with 2 – 5 storey, attached or very close-set buildings often of brick or stone, e.g. old city core		7	1.0 – 2.5	> 85
3. Highly developed, medium density urban with row or detached but close-set houses, stores & apartments e.g. urban housing		7	0.5 – 1.5	70 - 85
4. Highly developed, low or medium density urban with large low buildings & paved parking, e.g. shopping mall, warehouses		5	0.05 – 0.2	70 - 95
5. Medium development, low density suburban with 1 or 2 storey houses, e.g. suburban housing		6	0.2 – 0.6, up to >1 with trees	35 - 65
6. Mixed use with large buildings in open landscape, e.g. institutions such as hospital, university, airport		5	0.1 – 0.5, depends on trees	< 40
7. Semi-rural development, scattered houses in natural or agricultural area, e.g. farms, estates		4	> 0.05, depends on trees	< 10

Key to image symbols: buildings; vegetation; impervious ground; pervious ground

Fonte: Oke, 2004.

A partir da leitura desses sistemas de classificação, são elaborados novos modelos de interpretação do clima das cidades, modelos atuais de regionalização e interpretação dos atributos urbanos que influenciam no clima da cidade e geram condições térmicas distintas. Dentre esses modelos, foi abordado neste trabalho, o

Urban Climatic Map (UCMap).

2.3.1 Urban Climatic Map (*Mapa Climático Urbano*)

Tendo em vista que o clima é um dos principais indicadores para o conforto ambiental nos ambientes urbanos, os pesquisadores especialistas nas cidades buscaram novas alternativas de utilizarem este elemento para o planejamento. Foi nesse sentido que o pesquisador alemão Kar Knoch (1951; 1963) propôs pela primeira vez um sistema de mapeamento do clima para fins de planejamento. O autor sugeriu uma série de mapas climáticos urbanos em diferentes escalas. Ren (2015) relata que desde a década de 1970, a Alemanha ocidental tem intensificado suas atividades geocientíficas na apresentação de mapas para o planejamento.

Na década de 1990, após a reunificação da Alemanha, diversas cidades adotaram mapeamentos sistemáticos das funções climáticas, dentre eles o *Urban Climatic Map* (UCMap), proporcionando assim aos planejadores urbanos informações e condições de realizar ações direcionadas aos ambientes urbanos em sua complexidade. O UCMap atraiu interesse em todo o mundo, de acordo com Ren (2015) pesquisadores de diversos países iniciaram projetos e estudos relevantes utilizando o UCMap como ferramenta de planejamento, como é possível observar na Figura 8.

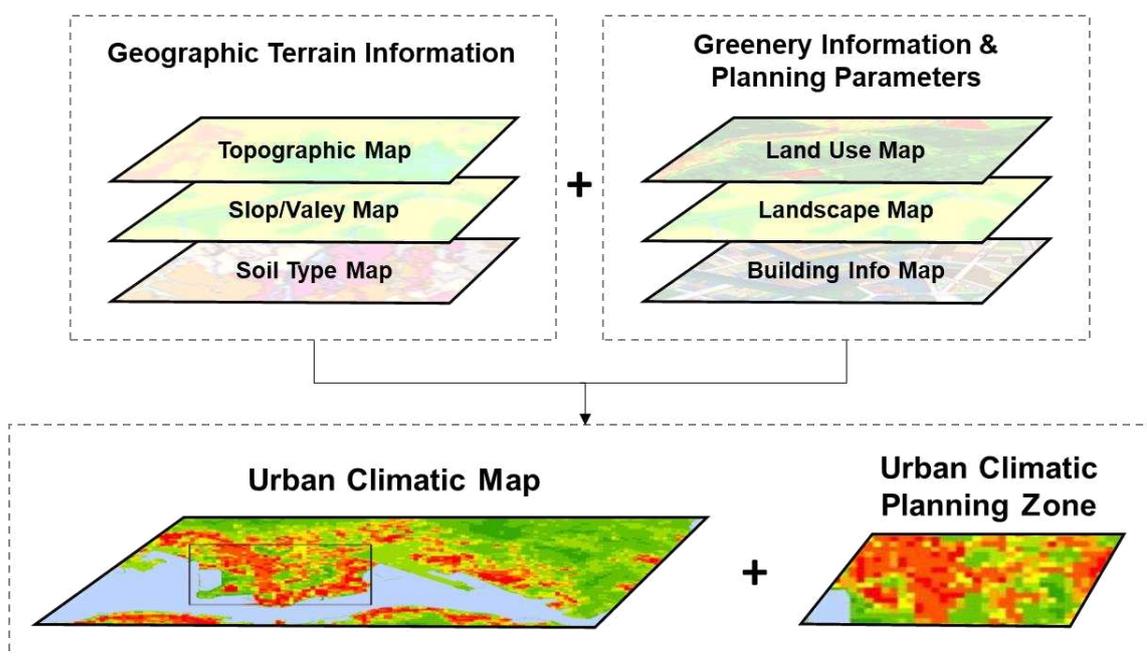
Figura 8 – Estudos aplicando o UCMap ao redor do mundo.



Fonte: Ren, 2015.

O UCMMap consiste em uma série de camadas básicas de entrada e dois componentes principais. As camadas básicas de entrada contêm mapas analíticos de dados geográficos do terreno, informações sobre vegetação e parâmetros de planejamento (Figura 9). O UCMMap é composto por dois componentes principais: o mapa de análises climáticas urbanas (Urban climatic analysis map - UC-AnMap), que visualiza e espacializa as avaliações correspondentes aos diferentes microclimas; e o mapa de recomendações (Urban climatic recommendation map - UC-ReMap), que inclui diretrizes e instruções para o planejamento do ponto de vista climático urbano.

Figura 9 – Estrutura do UCMMap



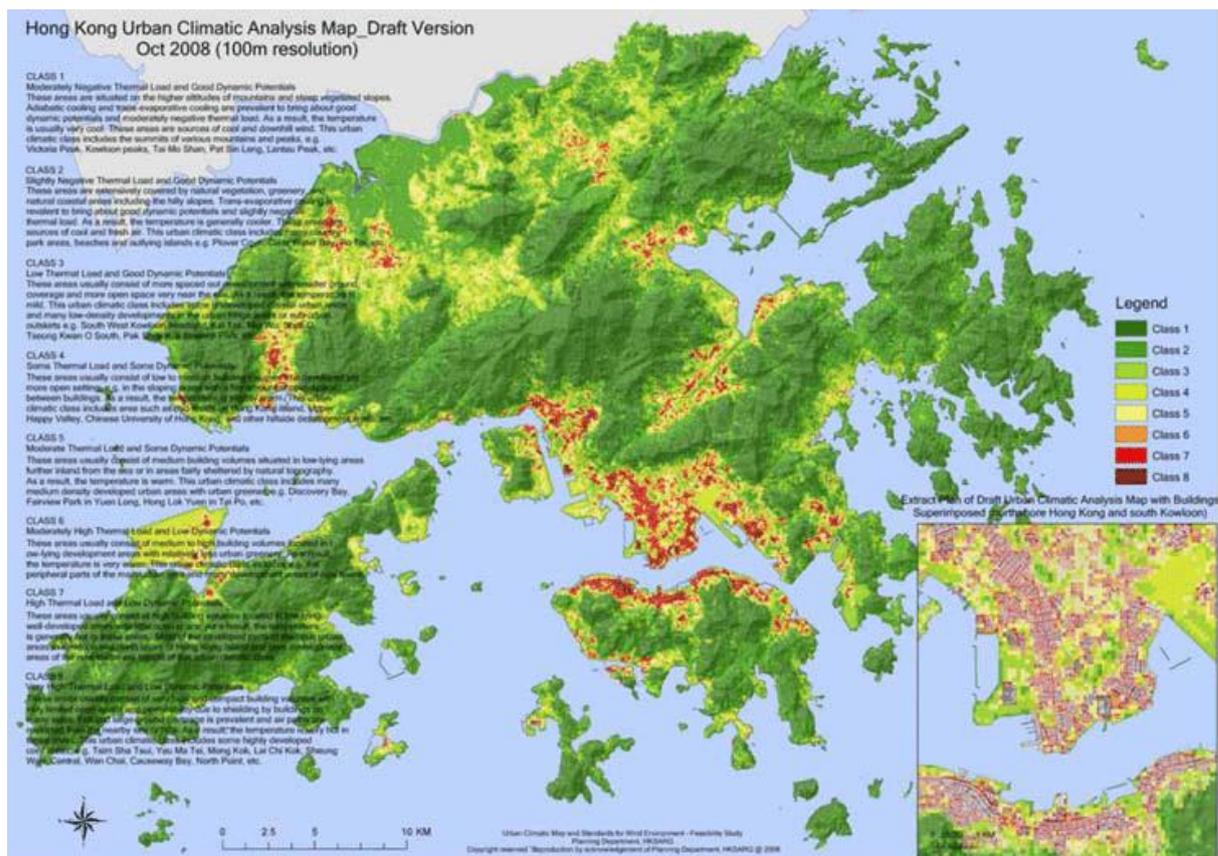
Fonte: Ren, 2015 (Adaptado).

Estudos realizados na Europa e Ásia representam importantes exemplos de trabalhos acadêmicos e aplicados ao planejamento utilizando a técnica do UCMMap. Países como Alemanha e China lideram pesquisas desde os anos 1990 sobre os efeitos da urbanização no clima local das cidades. Katzschner (1997) utiliza o UCMMap para estabelecer diretrizes para o planejamento urbano, utilizando da avaliação bioclimática, fazendo uso da *Physiological Equivalent Temperature* (PET).

O governo de Hong Kong encomendou um mapa de análises climáticas da cidade, para compreender como a complexa morfologia urbana e a dinâmica dos ventos poderia ser interpretada para utilização no planejamento. NG et al (2009)

constrói o UCMMap de Hong Kong através dos parâmetros de uso que interferem na carga térmica e potencial dinâmico, realizando uma síntese em 8 classes dos diferentes topoclimas (Figura 10), indicando que, as ações de planejamento devem ser direcionadas pelo agrupamento das classes, sendo possível identificar as áreas com maior sensibilidade climática.

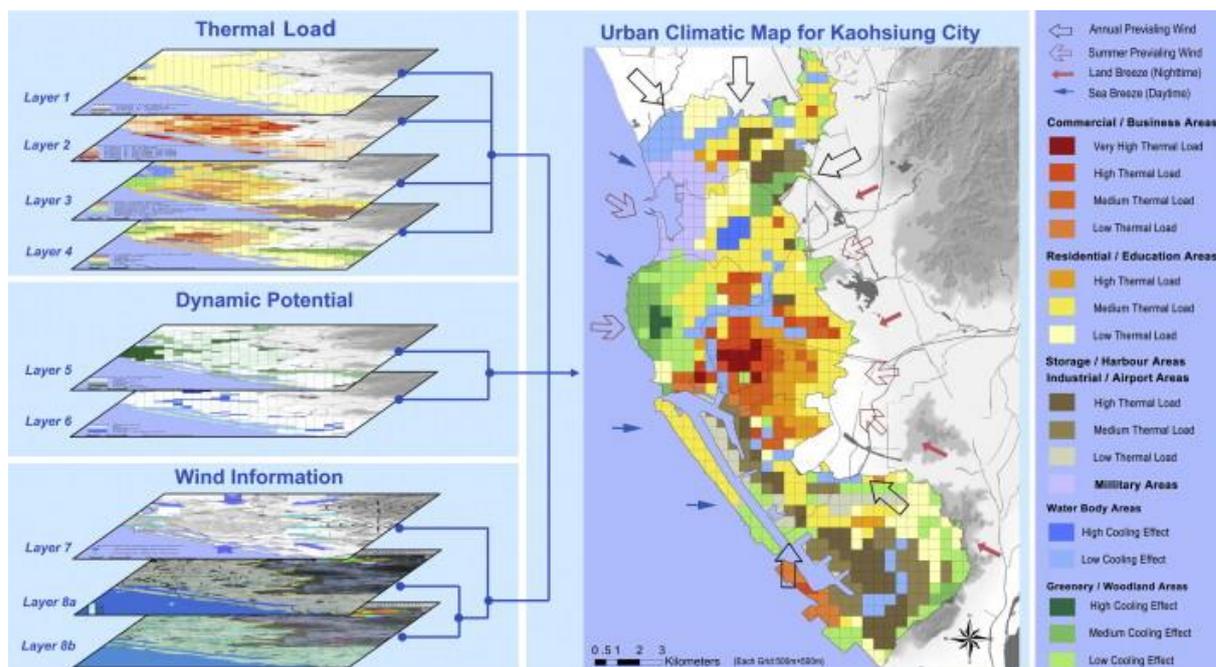
Figura 10 – UCMMap de Hong Kong



Fonte: Ng et al (2009).

Ren et al (2013) elaboraram diretrizes de planejamento utilizando o UCMMap para Kaohsiung (Figura 11). O estudo definiu as questões climáticas urbanas da área, apresentando metodologias de mapeamento e focando no direcionamento de sugestões para o planejamento urbano, sendo a vegetação e cobertura urbana, vias aéreas urbanas e espaços abertos, corpos d'água e rios, e morfologia e layout do edifício destacados visualmente e especialmente para os planejadores.

Figura 11 – Estrutura do UCMMap de Kaohsiung, Taiwan.



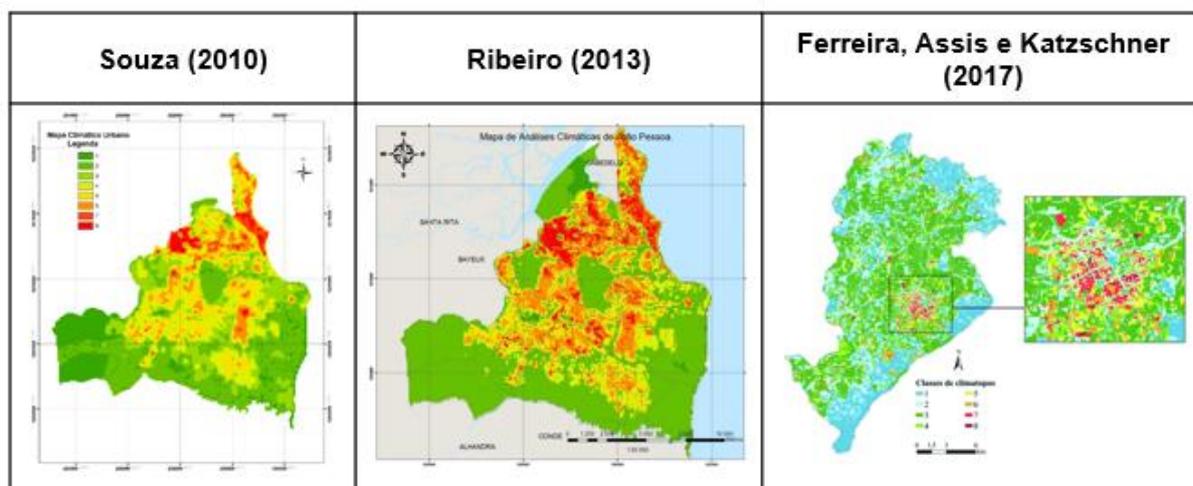
Fonte: Ren et al (2013).

No Brasil, os estudos aplicando o UCMMap foram iniciados a partir dos anos 2000, principalmente no viés acadêmico. O primeiro trabalho foi realizado na cidade de Salvador (BA), onde foram mapeados os diversos elementos do sítio urbano que influenciam diretamente no clima local, além de realizar medições em diferentes pontos da cidade, concluindo a necessidade de preservação da vegetação e das vias de ventilação para gerar condições de conforto (NERY et. al, 2006).

Souza (2010) aplicou a metodologia utilizada em Hong Kong na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba. O autor identificou, classificou e valorou as áreas que contribuem para o balanço de energia da cidade, elaborando mapas de carga térmica e potencial dinâmico. Ribeiro (2013) realizou uma atualização no Mapa de análises climáticas de João Pessoa, realizando adaptações em relação às variáveis mapeadas na construção do modelo.

Foi construído por Ferreira, Assis e Katzschner (2017) um mapeamento climático da cidade de Belo Horizonte, no qual foram identificadas 8 classes de climatopos no município a partir da somatória de mapas temáticos reclassificados de acordo com seu potencial térmico e dinâmico. Na figura a seguir é possível visualizar exemplos de UCMMaps construídos em território nacional (Figura 12).

Figura 12 – Estudos aplicando o UCMMap no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se que, poucos trabalhos abordando a classificação através do mapeamento climático urbano foram desenvolvidos em território nacional, sendo necessário testar a aplicabilidade desta metodologia em diferentes ambientes, dentre eles o tropical costeiro.

É importante destacar que, de acordo com Albuquerque, Santos, Lopes e Zanella (2022), o UCMMap oferece uma abordagem abrangente na avaliação dos variados mecanismos de controle climático, por meio da representação gráfica dos climatopos, configurando uma importante ferramenta para compreender a dinâmica urbana e os elementos do clima local, no entanto, há a necessidade de aprimorar as discussões no âmbito do planejamento urbanístico, com o objetivo de promover cidades sustentáveis, inclusivas e resilientes, com base em decisões governamentais pertinentes nas diferentes esferas sociais e econômicas.

Estudos recentes aplicam a técnica e apontam sua importância para a compreensão do clima urbano e o planejamento das cidades. Freitas, Azevedo, Carvalho e Costa (2021) apresentam um estudo sobre mapeamento climático e sua relação com o planejamento urbano, visando o conforto ambiental nas cidades. O estudo aborda diversos aspectos relacionados aos microclimas urbanos, como a influência da topografia, vegetação e uso do solo na temperatura e umidade do ar. São apresentadas técnicas para a elaboração de mapas de análise climática e são identificadas macrozonas no município de Recife e sua relação com os microclimas. O estudo também fornece recomendações para o uso e ocupação do solo, visando

melhorar o conforto ambiental nas áreas críticas.

Moura et al. (2022) constata em seu estudo que a metodologia do UCMMap é viável de aplicação em cidades brasileiras de diferentes portes, pois a abordagem parte inicialmente da utilização de dados comumente disponíveis, como mapas de uso e ocupação do solo e dados topográficos, que são inseridos e tratados através de ambiente computacional SIG, o que fornece o arcabouço necessário para a compreensão do clima urbano, a partir de dados disponíveis, tendo em vista a fragilidade de dados climáticos disponíveis em território nacional.

O UCMMap demonstra ser uma importante ferramenta para a compreensão do clima urbano, a partir dos dados geoespaciais que influenciam nos atributos climáticos. Para esta pesquisa, aplicou-se o UCMMap com o objetivo de compreender como os diferentes padrões de uso e ocupação do solo distribuem-se na cidade de Fortaleza e tem capacidade de interferir no clima urbano do município.

3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Nesta sessão, foram apresentados os procedimentos metodológicos pertinentes para responder aos questionamentos iniciais. As técnicas empregadas foram testadas e validadas por diversos autores, o que possibilita sua replicabilidade em diferentes áreas de estudo, a partir de suas particularidades.

3.1 Análise temporal

Para constatar a hipótese que, Fortaleza apresenta mudanças substanciais em sua atmosfera urbana, e, portanto, inclinações à elevação da temperatura na cidade, se fez necessário uma análise temporal. Para tal análise, foi utilizada uma série de dados meteorológicos consistente e longa. A estação meteorológica escolhida foi a do Campus do Pici, gerida pelo Departamento de Agrometeorologia da Universidade Federal do Ceará, cuja série de dados data de 1966 até os dias atuais.

Nesta etapa, utilizou-se dados de temperatura média, temperatura máxima média e temperatura mínima média, em níveis mensais e anuais, de 1966 até 2019 (54 anos). Essas variáveis foram submetidas a testes estatísticos para detecção de tendências de mudança, com o objetivo de comprovar alterações climáticas e períodos de ruptura.

3.1.1 Teste de Mann-Kendall

Para a identificação e análise das tendências climáticas e significâncias, foi utilizado o teste de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall é um teste não-paramétrico (MANN, 1945; KENDALL, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados meteorológicos.

O teste considera, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores que ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma. Goossens & Berger (1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e

localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência. De acordo com Cabral Júnior e Lucena (2020), a equação é dada por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{senal} (x_j - x_i)$$

Sendo "S" o resultado da adição das contagens de " $x_j - x_i$ ", em que " x_j " representa o primeiro valor imediatamente após " x_i " e "n" é o número de dados presentes na série temporal. Para cada par de dados, são designados valores correspondentes aos seguintes critérios:

$$\text{senal} = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

Quando o tamanho da amostra (n) é grande, a distribuição de probabilidade da estatística de teste S se aproxima da distribuição normal, com média igual a zero e variância dada por:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Considere " t_p " como o número de dados com valores iguais em um determinado grupo e "q" como o número de grupos contendo valores iguais na série de dados do grupo "p".

O valor da variável Z, que é utilizado na estatística do teste de Mann-Kendall, é obtido por meio da Equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Foram realizadas análises de tendências nas séries anuais de variáveis climáticas (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação) coletadas pela Estação Meteorológica do Campus do Pici entre 1966 e 2019. Esses dados foram submetidos ao teste de

Mann-Kendall por meio do software Past3. Primeiramente, os dados foram inseridos em uma planilha e aplicados à estatística descritiva para gerar o resultado de Z. Se o valor de Z estiver entre -1,96 e 1,96, isso indica a ausência de tendência. Dessa forma, foram testadas as séries de dados de temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação, tanto para as médias e somas anuais quanto para as médias e somas mensais de cada variável.

3.1.2 Teste de Pettitt

O teste de Pettitt é uma ferramenta estatística não paramétrica usada para detectar mudanças abruptas em séries temporais univariadas. Ele é particularmente útil para análise de dados hidrológicos, climáticos e ambientais. O teste de Pettitt é baseado no ranking das observações em uma série temporal. Ele procura o ponto de mudança em que a probabilidade de encontrar uma observação maior antes da mudança é igual à probabilidade de encontrar uma observação menor após a mudança. Esse ponto é chamado de ponto de mudança de Pettitt. O teste de Pettitt é amplamente utilizado em estudos ambientais para detectar mudanças em variáveis climáticas, como a temperatura do ar, precipitação, entre outras.

Para realizar o teste de Pettitt, é necessário seguir alguns procedimentos e pressupostos estatísticos (PETTITT, 1979), utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual se verifica se duas amostras Y_1, \dots, Y_t e Y_{t+1}, \dots, Y_T são da mesma população. A estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_t - Y_j)$$

Para $t = 2, \dots, T$, onde: $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$. A estatística $U_{t,T}$ é então calculada para os valores de $1 \leq t \leq T$ e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$. Esta estatística localiza o ponto onde houve uma ruptura (changing point) de uma série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

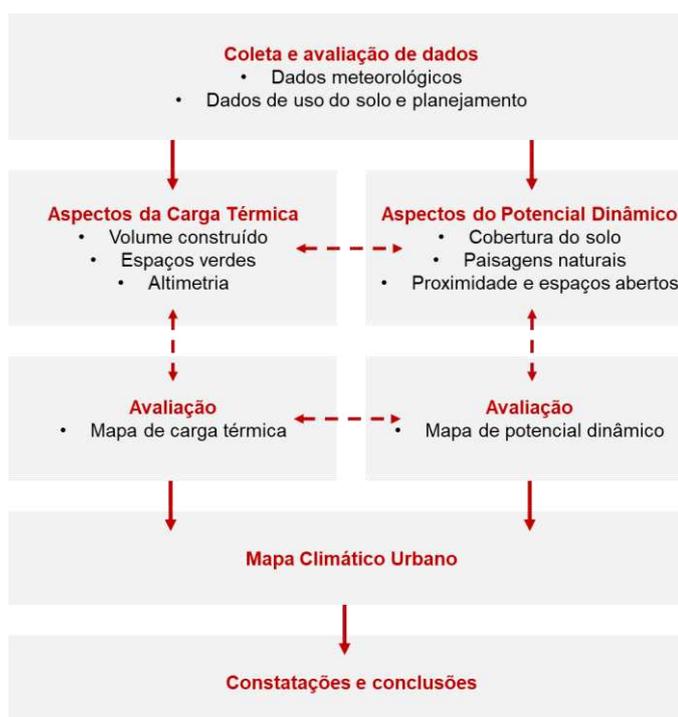
$$p \cong 2 \exp \{-6k(t)^2/(T^3 + T^2)\}$$

3.2 UCMMap

A metodologia empregada nesta etapa teve como base os passos desenvolvidos na construção do Mapa Climático urbano da cidade de Hong Kong. Para a elaboração do mapa de análises climáticas. Ng et al (2009) desenvolveram um esquema processual de aplicação da metodologia, dividindo em 5 etapas (Figura 13).

O primeiro passo se dá através da coleta de dados para a caracterização geral da cidade, tendo em vista as características climáticas e urbanas. O segundo passo constitui-se na construção das camadas que compõe do UCMMap, são elas: volume construído, espaços verdes, topografia, cobertura do solo, paisagens naturais e proximidades a espaços abertos. Através da soma dessas camadas resultam-se os mapas de carga térmica e potencial dinâmico, terceira parte dos procedimentos. A quarta etapa consiste na construção do UCMMap e sua reclassificação. Finalizando, a quinta etapa é a interpretação e conclusões adquiridas através da análise dos mapas.

Figura 13 – Metodologia de trabalho do UCMMap



Fonte: Ng et al, 2009 (Adaptado)

A partir desse roteiro metodológico, procedeu-se a etapa de construção das camadas que compõe efetivamente os componentes de carga térmica e potencial dinâmico. A cada camada analisada foram arbitrados valores (a partir da divisão em classes) com base em seus efeitos positivos e negativos relacionados à carga térmica (elevação e arrefecimento da temperatura) e ao potencial dinâmico (tendo em vista o fator ventilação).

3.2.1 Descrição das etapas de construção das camadas

Para a execução desta etapa foi necessário utilizar uma série de dados e documentos cartográficos do município de Fortaleza, obtidos através de base cartográfica digital em formatos *shapefile* e *raster*. Esses dados foram tratados no *software* SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcGIS 10.4. Os arquivos com suas respectivas fontes estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Fontes de dados cartográficos

Tipo	Arquivo	Fonte
Shapefile	Base cartográfica (bairros, limites municipais, arruamentos)	SEFIN
Shapefile	Arquivo vetorial das edificações de Fortaleza, com informações de altimetria e área do ano de 2016	SEFIN
Raster	Imagem SRTM com informação altimétrica	USGS
Raster	Imagem Landsat 8	USGS

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1.1 Mapa de volume edificado

Para o cálculo do volume edificado foram necessárias as informações em formato vetorial (*shapefile*) da área construída de cada edificação e seus gabaritos em altura. O volume edificado foi calculado mediante o *software* ArcGIS 10.5, utilizando a seguinte razão matemática: área da edificação multiplicada por sua altura. O valor encontrado foi graduado em porcentagem, seguindo os passos empregados por Ribeiro (2013), no qual o maior valor encontrado compreende a

100%, ou seja, o maior volume construído na área de estudo.

Desta forma, os passos para a construção do mapa de volume edificado foram: 1) calcular o volume a partir das informações de área e altura das edificações; 2) converter o arquivo *shapefile* para *raster*, adotando a resolução espacial de 1 x 1; 3) aplicar o método *aggregate tools* no arquivo gerado no passo anterior, adotando a resolução espacial de 100 x 100 e opção de agregar por soma; 4) determinar as classes presentes nesta camada, o maior valor representa 100% de volume edificado., sendo que foram divididas cinco classes a partir dessa proporção (0, 0 – 4%, 4 – 10%, 10 – 25% e >25%).

A partir da ferramenta de reclassificação do *spacial analyst* foram definidos novos valores para cada classe, a partir do seu potencial de carga térmica, tendo em vista que, esta camada apresenta função de ganho de calor, portanto são atribuídos valores positivos para cada classe, desta maneira: a classe de valor 0 é aquela onde não há nenhuma edificação, não representando impacto na carga térmica; o valor 1 é atribuído a classe de 0 – 4%; à classe entre 4 – 10% o valor atribuído é 2; as áreas ocupadas por 10 – 25% das edificações recebem valor 3; e por fim o maior valor (4) é atribuído às edificações acima de 25% de volume construído.

3.2.1.2 Mapa de espaços verdes

Esta camada visa identificar os espaços vegetados na área da cidade, que poderão contribuir para o arrefecimento da atmosfera, através da redução de carga térmica. A vegetação tem a capacidade de reduzir a temperatura do ar em escala local, devido aos aspectos de sombreamento, evapotranspiração e absorção da radiação solar, principalmente em seus arredores.

Para a produção do mapa de espaços verdes foi aplicada a técnica de geoprocessamento de imagens *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). Essa técnica consiste em calcular o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo, tendo em vista minimizar as influências do solo na caracterização do dossel das plantas (HUETE, 1988). O SAVI é representado pela seguinte equação:

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(L + NIR + R)}(1 + L)$$

Basicamente, a técnica consiste em traçar a razão entre o infravermelho próximo (NIR) e a banda do vermelho (R). Onde L é um fator de ajuste, obtido de forma que o índice resultante tivesse o mesmo valor para vegetação, independente se o solo fosse claro ou escuro. O fator de correção L pode variar entre 1 para vegetações menos densas, e 0 para coberturas vegetais mais densas. O valor padrão utilizado na maioria das aplicações é 0,5, que corresponde a uma densidade vegetal intermediária.

Para a execução da técnica utilizou-se imagem de satélite Landsat 8, adquirida através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A imagem corresponde ao dia 18 de junho de 2020, a hora de coleta foi 12:46, cena 217/063, e resolução espacial de 30 metros, sendo utilizadas as bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho).

A equação do SAVI foi aplicada em ambiente SIG (ArcGIS) e calculada através do *raster calculator*, ferramenta do *spacial analyst tools*. Após o cálculo do índice, foi utilizada a ferramenta de reclassificação, atribuindo valor 0 para as áreas sem vegetação e -1 para áreas vegetadas, tendo em vista as áreas arborizadas como fator de diminuição da temperatura local.

3.2.1.3 Mapa de altimetria

A altimetria pode contribuir com a diminuição da temperatura do ar, devido ao gradiente negativo de temperatura na troposfera. Para a elaboração do mapa altimétrico de Fortaleza, utilizou-se imagem SRTM, com resolução de 30 metros, adquirida através do USGS e tratada em ambiente SIG. Serreze, Barry e Chorley (2010) destacam a importância da capacidade de arrefecimento da topografia, contribuindo com a redução dos efeitos da carga térmica através do gradiente térmico de temperatura do ar, cerca de $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Para esta camada são designados valores negativos e decrescentes a partir de determinadas altitudes.

Através da técnica de reclassificação de *raster* foram atribuídos os valores para cada *range* de altitude. As áreas com altitude variando de 0 a 50 metros recebem o valor 0, compreendendo as áreas mais próximas ao nível do mar, portanto mais favoráveis a ocorrência de aquecimento, enquanto as áreas acima dos 50 metros recebem valor -1 devido ao gradiente de temperatura. Vale ressaltar que o sítio urbano de Fortaleza possui pouca variação altimétrica, por isso a limitação em

apenas duas classes, áreas com cotas mais elevadas podem gerar mais classes nesta camada.

3.2.1.4 Mapa de cobertura do solo

De acordo com Ribeiro (2013) esta camada tem o objetivo de analisar a superfície do solo quanto a sua rugosidade e porosidade, tendo em vista a permeabilidade do escoamento do vento em relação ao potencial dinâmico, sabendo que, o potencial de ventilação é inversamente proporcional a cobertura do solo, ou seja, quanto maior a cobertura menor será a ventilação.

Para a elaboração desta camada foi necessário utilizar o arquivo vetorial das edificações da cidade de Fortaleza, para identificar as áreas urbanas com altas taxas de ocupação, gerando áreas de maior impermeabilidade dos ventos. Primeiramente foi necessário aplicar um *merge* nas edificações, juntando as feições em uma só camada. O segundo passo foi gerar uma grade quadricular (poligonal) com área de 100m x 100m, através da ferramenta *fishnet* do *software* ArcGIS. Para calcular a porcentagem de área coberta por quadrante, foi necessário aplicar a técnica de intercessão do *analyst tools*, e posteriormente criar um novo campo na tabela de atributos do vetor criado no processo de intercessão, neste novo campo foi calculado pelo *field calculator* a porcentagem de área coberta em cada um dos quadrantes de 100m x 100m.

Depois de calcular a porcentagem de área coberta, converteu-se o arquivo *shapefile* em uma camada *raster*, com resolução espacial de 100m. As classes foram definidas utilizando a ferramenta de reclassificação de acordo com o potencial de ventilação, ou seja, quanto maior a taxa de ocupação menor o potencial de ventilação. Áreas com taxa de ocupação entre 0 e 30% receberam valor -2, áreas entre 30 e 50% ficaram com -1, e áreas com mais de 50% ocupadas por edificações receberam valor 0.

3.2.1.5 Mapa de vegetação rasteira

Esta camada objetiva analisar a vegetação da cidade de Fortaleza, levando em consideração a base de atrito causada pelo dossel vegetativo da cidade. Do ponto de vista da dinamicidade e escoamento da ventilação, a vegetação rasteira

pode ser benéfica devido a baixa rugosidade apresentada, podendo favorecer o movimento do ar que tem potencial dinâmico de arrefecimento da temperatura do ar.

Olgay (1998) aponta que nem todo tipo de vegetação é capaz de produzir condições adequadas para a circulação do vento, o autor indica que grandes formações vegetacionais, como florestas e matas, apresentam rugosidade considerada elevada, assemelhando-se com grandes edificações, dificultando o processo de circulação do vento e tendo pouco impacto no potencial dinâmico.

A partir do processamento realizado para a construção da camada 2 (SAVI), foram identificadas e diferenciadas as feições vegetacionais rasteiras e densas, possibilitando a reclassificação e valoração das classes de potencial. Para as áreas sem presença de vegetação e que apresentam padrão denso de cobertura vegetal foi atribuído o valor 0, enquanto os *pixels* contendo vegetação rasteira foram reclassificados para -1, entendendo que estes compreendem as áreas com maior potencial dinâmico.

3.2.1.6 Mapa de proximidades e espaços abertos

Áreas urbanas que se localizam próximas à corpos hídricos, como lagos, lagoas, orla marítima, como também às encostas se beneficiam dos movimentos de ventilação natural (SOUZA; KATZSCHNER, 2018). As brisas marítimas e os movimentos de ar nas encostas são fenômenos característicos dessas áreas, os quais provocam mais dinamicidade em relação a circulação do vento. Dentro dessa perspectiva, recebem valores negativos, pois interferem para o arrefecimento da temperatura do ar local.

Sendo assim o mapa de proximidades refere-se à soma das encostas e corpos hídricos. Para a construção do mapa referente a proximidade de corpos hídricos utilizou-se a técnica NDWI (*Normalized Difference Water Index*), que permite ressaltar as feições de água e minimizar os outros alvos. O NDWI é obtido através das bandas do verde e do infravermelho próximo do satélite Landsat 8:

$$NDWI = \frac{(TM3 - TM5)}{(TM3 + TM5)}$$

Onde, TM3 corresponde ao comprimento de onda verde e TM4 ao infravermelho próximo, sendo as bandas 3 e 5 do Landsat 8.

A partir da identificação dos corpos hídricos através do NDWI (formato *raster*) foram vetorizados os corpos d'água e a linha de costa da cidade de Fortaleza. Depois de obter os arquivos vetoriais, gerar dois *buffers* de 70m e 140m, respectivamente. O próximo passo foi definir o valor a partir da influência desses espaços para o arrefecimento, Ribeiro (2013) recomenda o valor -2 para as áreas até 70 metros de distância dos corpos hídricos e -1 para áreas entre 70 e 140 metros de distância. É preciso então transformar os arquivos vetoriais em camadas *raster*, após a realização de um *merge* para unir as feições.

O mapa de encostas foi gerado a partir de imagem SRTM, com informações de altimetria da cidade. Para realizar o processo de identificação das declividades é necessário converter o sistema de coordenadas para UTM. A partir dessa imagem foi aplicada a função *slope* do *spacial analyst tools* no ArcGIS, nesse momento optou-se por gerar as declividades em porcentagem.

O resultado do processamento da declividade foi classificado em duas partes. As inclinações superiores a 40% receberam valor -1, enquanto às áreas com menos de 40% de inclinação foram atribuídas 0, não tendo influencia no potencial dinâmico.

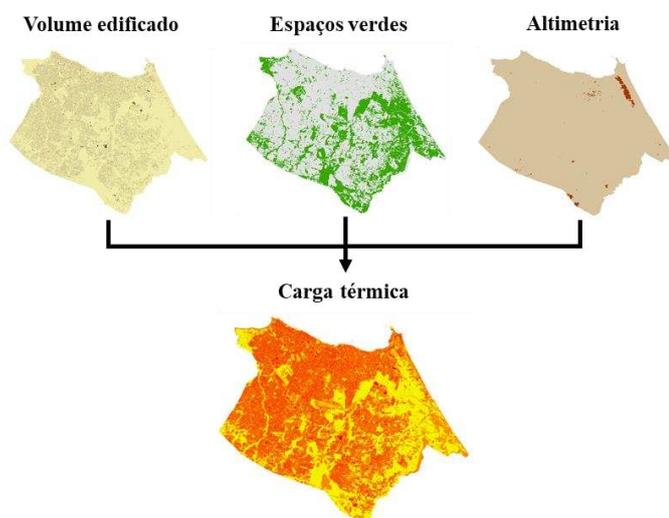
O mapa de proximidades é resultado da soma do mapa de declividade e proximidade de corpos hídricos, através da ferramenta *map algebra*.

3.2.1.7 Mapa de análises climáticas

O mapa de análises climáticas é composto pela soma das camadas anteriormente descritas, seguindo dois passos: 1) elaboração do mapa de carga térmica e potencial dinâmico; e 2) soma e reclassificação dos valores obtidos.

Na primeira etapa utilizou-se o *software* ArcGIS para executar uma álgebra de mapas, realizando a somatória dos valores atribuídos a cada uma das camadas anteriormente descritas. Pela adição dos valores das três primeiras camadas (camada 1, 2 e 3), uma nova camada será gerada, com novos valores de classificação, resultando no mapa de carga térmica da cidade de Fortaleza (Figura 14).

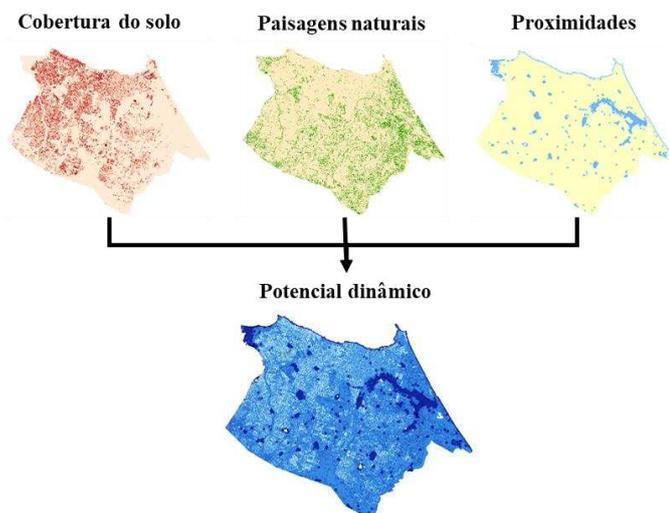
Figura 14 – Processo de construção do mapa de carga térmica



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do mesmo modo foi elaborado o mapa de potencial dinâmico, através da adição de camadas pela calculadora *raster* do ArcGIS, onde foram somados os valores das outras três camadas (camada 4, camada 5 e camada 6), como é possível visualizar na Figura 15.

Figura 15 – Processo de produção do mapa de potencial dinâmico

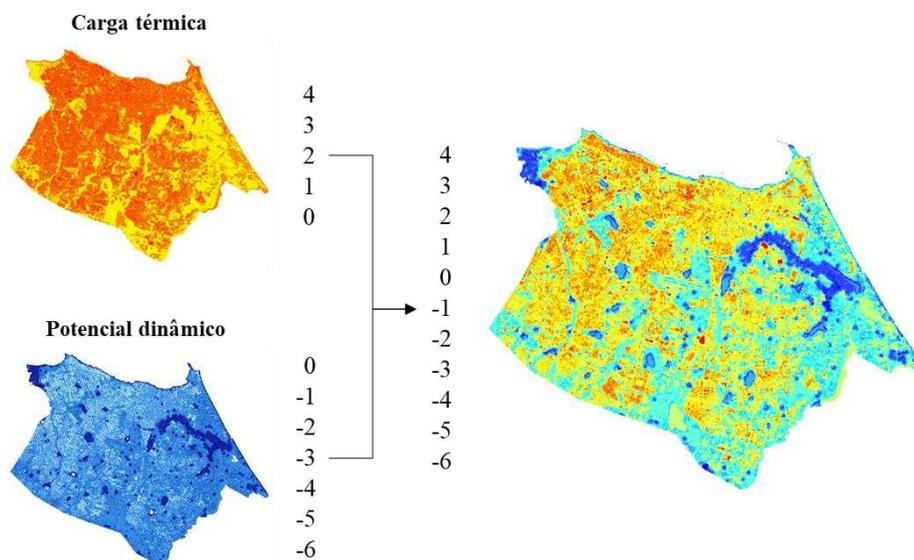


Fonte: Elaborado pelo autor.

A etapa final de construção do UCMaP consiste no resultado da operação algébrica de sobreposição dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico, posteriormente realizando a reclassificação através do *spacial analyst*, gerando as

classes climáticas urbanas, representadas em cores graduais do azul ao vermelho (Figura 16).

Figura 16 – Processo de construção do UCMMap



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Coleta e tratamento dos dados de temperatura do ar

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), apenas 47 municípios do Nordeste possuem estações meteorológicas automáticas em funcionamento, o que representa uma cobertura de apenas 8,5% da região. Essa falta de estações meteorológicas no Nordeste do Brasil é um problema antigo e tem sido amplamente discutida na literatura científica. Em um estudo realizado por Medeiros et al. (2016), os autores destacam a necessidade de se estabelecer uma rede de estações meteorológicas mais densa e bem distribuída na região, a fim de melhorar a qualidade das informações meteorológicas e climáticas.

A utilização de equipamentos de medição é fundamental para a realização de estudos sobre o clima urbano, permitindo coletar dados precisos e confiáveis. Segundo Monteiro (2009), a falta de medições pode levar a uma má compreensão dos fenômenos climáticos em áreas urbanas, o que pode resultar em projetos de urbanização e planejamento urbano inadequados.

Para a coleta de dados foram utilizados termo higrômetros HOBO MX2301A, que são equipamentos utilizados para medir a temperatura e a umidade relativa do ar. Esses dispositivos possuem um sensor de temperatura e um sensor de umidade integrados, além de uma memória interna para armazenar dados de medição. De acordo com a Onset, fabricante dos equipamentos, o HOBO MX2301A é um dos termo higrômetros mais precisos do mercado, com uma precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ para medições de temperatura.

Figura 17 – Termo higrômetro HOBO MX2301A



Fonte: Onset (2023).

Para a utilização do equipamento em ambientes externos, é necessário a utilização de um abrigo. Os abrigos para termo higrômetros são equipamentos que protegem os instrumentos de medição da radiação solar direta e do vento, permitindo que as leituras sejam mais precisas e representativas das condições ambientais. Existem diversas formas de abrigar termômetros para medições climáticas, sendo que uma das opções são os abrigos de PVC furados, esses escolhidos para utilização nesta pesquisa. Esses abrigos são feitos de um tubo de PVC branco com furos em sua parte superior e inferior para permitir a passagem do ar e reduzir o efeito do aquecimento solar direto no sensor, além de protegê-lo contra a chuva e ventos fortes.

Figura 18 – Abrigo de PVC para os termo higrômetros



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os abrigos foram considerados eficientes para proteger os sensores das variações climáticas, possibilitando a coleta de dados precisos para análises de longo prazo. Dessa forma, a utilização de abrigos de PVC furados para a medição de variáveis climáticas é uma prática comum e recomendada para garantir a qualidade e confiabilidade dos dados coletados (FIALHO; CELESTINO, 2017).

Os dados foram coletados do dia 1 de novembro de 2021 até o dia 31 de março de 2022, obtendo observações correspondentes ao período seco e chuvoso do município, com o objetivo de identificar o comportamento térmico da cidade referente aos diferentes padrões de circulação atmosférica. A temperatura do ar foi aferida no intervalo de 10 minutos, visando o maior volume de dados possível e uma autonomia viável da bateria do equipamento, fazendo com que a coleta fosse ininterrupta.

Os dados foram tratados através de planilhas Excel, onde foram geradas tabelas e gráficos, para a análises dos resultados obtidos para cada mês.

A espacialização das temperaturas foi realizado através dos *softwares* ArcGIS e QGIS, onde os dados foram submetidos a estatísticas espaciais. O método de interpolação escolhido foi o IDW (Inverse Distance Weighting), que é amplamente utilizado em estudos de clima urbano para estimar valores de variáveis meteorológicas em locais onde não há medições diretas. O método consiste em

estimar um valor em um ponto de interesse com base nas medições em pontos vizinhos ponderados pela distância inversa. De acordo com Perin et al. (2015), o método IDW é um dos mais utilizados para interpolação de dados de temperatura, uma vez que ele apresenta bons resultados de interpolação.

O cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, utiliza-se a seguinte equação matemática (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011):

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i}$$

Em que, $Z(x)$ - é o valor do ponto que se deseja interpolar; n - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto x ; $Z(x_i)$ - é o valor do ponto x_i ; e ω_i - é o peso do valor de x_i sobre o ponto x . Para se determinar ω_i utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p}$$

Em que, $h(x, x_i)$ - h é a distância entre o ponto x e o ponto x_i ; e p - é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois. Parâmetros de potência maiores enfatizam pontos mais próximos, tornando o resultado menos suave. Parâmetros de potência menores enfatizam pontos mais distantes, tornando o resultado mais suave, porém menos preciso.

3.4 Índice Global e Local de Moran

Em posse dos dados do modelo de representação do clima urbano (UCMap) e da espacialização dos dados de temperatura do ar, foi realizada a estatística para esses elementos dentro dos limites administrativos de bairros, pois essa é a escala para a implementação de ações concretas de mitigação dos feitos climáticos, através de *softwares* SIG. Após o agrupamento das informações nessa

escala, foi realizada a análise exploratória desses dados espaciais, com o objetivo de identificar áreas homogêneas.

Procurou-se identificar um padrão de interdependência espacial entre os bairros do município de Fortaleza em relação às classes do UCMaP e da temperatura do ar coletada em campo, utilizando a técnica de análise de contiguidade ou análise exploratória de dados espaciais, que tem como finalidade mensurar a relação espacial de uma área geográfica específica (SILVA, 1999).

A fim de avaliar a autocorrelação espacial dessas variáveis entre bairros adjacentes, foi utilizado o software Geoda 1.12[®] para executar a análise exploratória de dados espaciais por meio dos Índices Global e Local de Moran. O índice de Moran é uma medida utilizada para avaliar a autocorrelação espacial em um conjunto de dados. O índice de Moran calcula o grau de semelhança ou dissimilaridade entre os valores de uma variável em uma determinada região e os valores nas regiões vizinhas (MORAN, 1948).

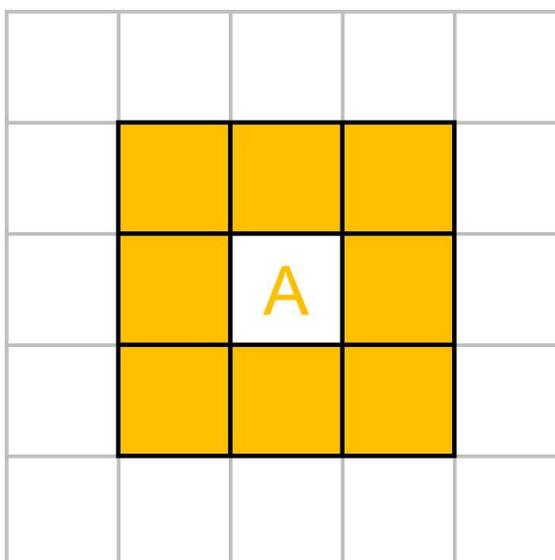
Inicialmente, foi realizado um teste de autocorrelação espacial global para avaliar a associação espacial dos atributos analisados nos bairros de Fortaleza. Os indicadores de autocorrelação global, segundo Anselin (1995), fornecem informações gerais sobre a dependência espacial de um determinado índice em uma determinada região. Para verificar a presença de autocorrelação espacial, utilizou-se o teste estatístico do Índice de Moran Global (I de Moran Global), que tem como hipótese nula, a distribuição aleatória desses atributos nos bairros de Fortaleza.

Inicialmente, foi preciso criar uma matriz de vizinhança espacial utilizando o princípio de contiguidade para realizar o teste de autocorrelação espacial global. Para isso, foi gerada uma matriz binária considerando a condição de que dois bairros são considerados vizinhos caso compartilhem de uma fronteira física em comum. Essa abordagem foi descrita por Medeiros (2014) como uma técnica comum na análise espacial de dados.

No presente estudo, foram testadas diferentes matrizes de pesos espaciais (Queen, Rook e vizinho mais próximo) para verificar qual delas apresentaria o melhor resultado. Verificou-se que a matriz de peso espacial Queen apresentou o maior valor do índice do I de Moran Global, indicando maior autocorrelação espacial entre bairros vizinhos. Essa matriz de peso espacial considera a vizinhança de duas regiões quando elas possuem fronteiras em comum,

levando em conta os vértices que as conectam, como é possível observar na Figura 19.

Figura 19 – Representação da matriz de vizinhança utilizada (Queen)



Fonte: Almeida, 2014 (Adaptado).

Os Índices Locais de Autocorrelação Espacial (LISA) foram utilizados em adição ao I de Moran Global, permitindo a identificação de clusters espaciais (MEDEIROS, 2014). De acordo com autor, o índice de Moran Local é capaz de decompor o índice de Moran Global em quatro categorias distintas: Alta-Alta, Baixa-Baixa, Alta-Baixa e Baixa-Alta, representando cada uma um quadrante de dispersão de Moran. Essa análise permite uma visualização da distribuição geográfica dos dados em cada categoria.

Em síntese, o I de Moran Local produz um gráfico de dispersão com quatro quadrantes: I (Alta-Alta); II (Baixa-Alta); III (Baixa-Baixa); e IV (Alta-Baixa). Esses quadrantes refletem diferentes tipos de autocorrelação espacial, e representa uma categoria específica, permitindo a identificação visual de diferentes níveis de dependência espacial dos dados. Além do quadrante de dispersão analisou-se o LISA *Cluster Map* que mostra quais bairros apresentaram dependência espacial local estatisticamente significativa e não significativa.

4 O LÓCUS DA PESQUISA

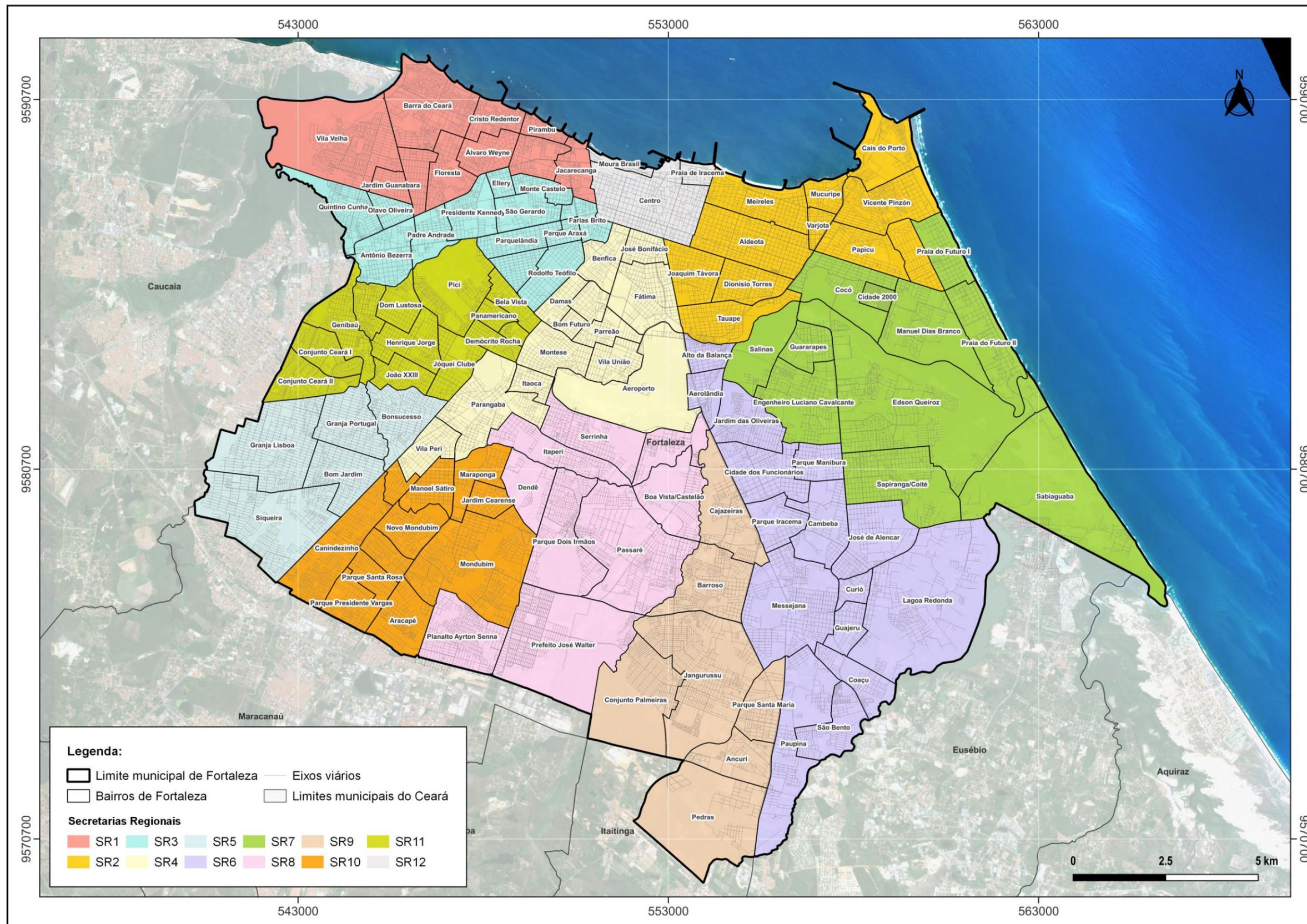
A cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, localiza-se no litoral da Região Nordeste brasileira, entre as coordenadas de 3° 43' 02" de latitude ao sul do Equador e 38° 32' 35" de longitude oeste de Greenwich. Limita-se ao norte com o Oceano atlântico e Caucaia, ao sul com Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio, à leste com Eusébio, Aquiraz e o Oceano Atlântico, e à oeste com Caucaia e Maracanaú. Está inserido na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), juntamente com outros 18 municípios.

Fortaleza apresenta população estimada para 2021 de 2.703.391 habitantes (IBGE, 2021). De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a área total da cidade de Fortaleza é de 312,353 km², onde foi calculado para o ano de 2010 uma densidade demográfica de 7.786,44 habitantes por km², sendo o segundo município mais populoso do Nordeste brasileiro, ficando atrás apenas de Salvador/BA, que tem uma estimativa para 2021 de 2.900.319 pessoas. Fortaleza é a cidade com a maior densidade demográfica do Nordeste e a capital de maior densidade populacional do país, de acordo com o IBGE.

A criação da nova divisão regional foi estabelecida através da Lei Complementar nº 278 em 23 de dezembro de 2019. Posteriormente, por meio do Decreto nº 14.590 em 6 de fevereiro de 2020, ocorreu a mudança de nome das Regionais, com a apresentação de novos mapas. Em 31 de dezembro de 2020, o prefeito de Fortaleza publicou um novo decreto, o nº 14.899, que regulamentou a estrutura administrativa da transição das Regionais. A reorganização resultou no agrupamento dos 121 bairros de Fortaleza em 39 territórios, estabelecidos a partir de critérios que consideraram, por exemplo, a densidade populacional, a extensão territorial de cada bairro, a proximidade cultural entre eles e o uso dos equipamentos públicos pelos moradores. Com a nova estruturação, a Secretaria Municipal de Gestão Regional (SEGER) foi criada para abranger as 12 Secretarias Regionais, que antes eram sete. A SEGER substituiu a antiga Coordenadoria Especial de Articulação das Secretarias Regionais.

Fortaleza, consolida cada vez mais sua hegemonia, adquirindo grande importância e domínio econômico sobre todo o território cearense (DIÓGENES, 2012). Através da Figura 20 é possível visualizar a atual configuração política do município, a distribuição dos bairros em suas respectivas regionais.

Figura 20 – Mapa da divisão administrativa (Regionais-SR) de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1 Caracterização climática

Fortaleza está localizada em uma latitude média de 3° abaixo da linha do equador, portanto apresenta características de clima tropical. A proximidade com o equador faz com que, as temperaturas médias mensais da cidade apresentem pouca variação intra e interanual, apresentando pouca diferença térmica entre os períodos de equinócios e solstícios. Sendo assim, a variável que rege a variabilidade climática da região é a precipitação, sendo um dos principais componentes para definir o tipo climático. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a cidade de Fortaleza está classificada como Clima tropical equatorial. Por estar localizada na costa da região nordeste brasileira, banhada pelo oceano atlântico, Fortaleza apresenta condições de umidade relativa elevada e grande influência dos ventos, tanto de escala regional como de escala local.

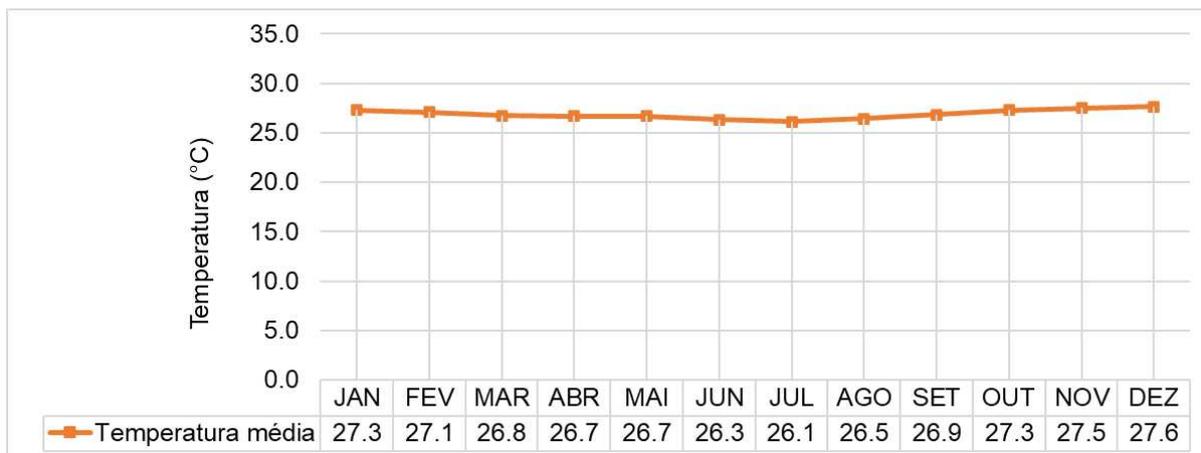
Diversos estudos foram realizados em Fortaleza, considerando a perspectiva climática. A partir dos anos 2000, é possível destacar os trabalhos de Zanella e Claudino-Sales (2002), Malveira (2003), Moura (2006), Moura (2007), Moura, Sales e Zanella (2008), Moura, Zanella e Sales (2010), realizando pesquisas a respeito das condições térmicas e/ou o conforto humano na cidade.

Sobre a dinâmica atmosférica regional, é importante ressaltar a influência do Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), formador da Massa Equatorial Atlântica (mEa), que atua na maior parte do ano sobre a região, causando estabilidade para o tempo. Essa estabilidade é rompida pelos sistemas atmosféricos causadores de chuva, que ocorrem no primeiro semestre do ano.

A seguir, é possível visualizar as condições médias históricas dos principais tributos climáticos em Fortaleza (temperatura, umidade, precipitação e vento). Foram desenvolvidos gráficos a partir dos dados adquiridos na Estação Meteorológica do Campus do Pici, do período de 1966 até 2019 (54 anos). A escolha dessa estação se deu por ser a com o banco de dados mais longa e com menos erros residuais.

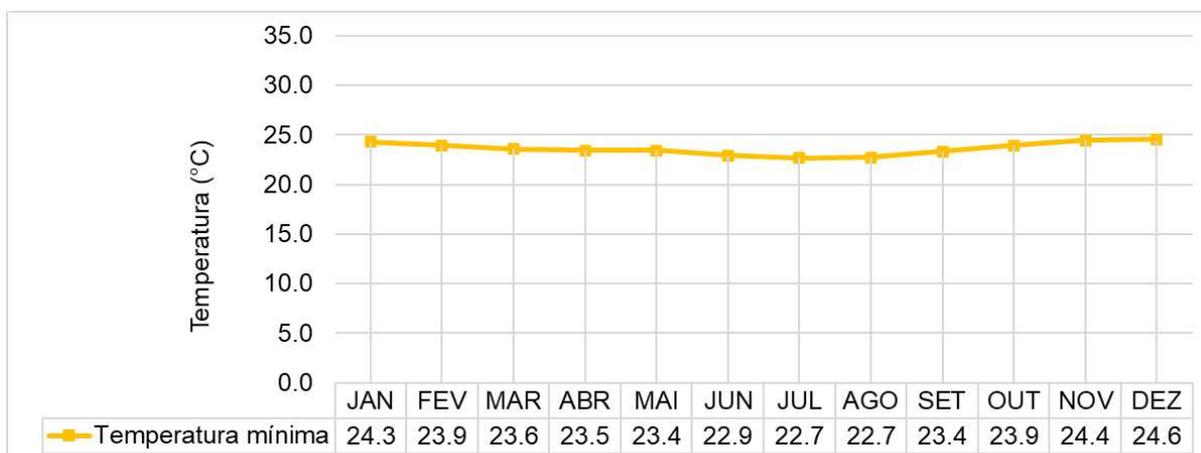
Nas figuras 21, 22 e 23 é possível visualizar as médias mensais para os valores de temperatura média, mínima e máxima para o período, com o objetivo de entender a dinâmica térmica de escala superior.

Figura 21 – Temperaturas médias mensais de Fortaleza (1966 – 2019)



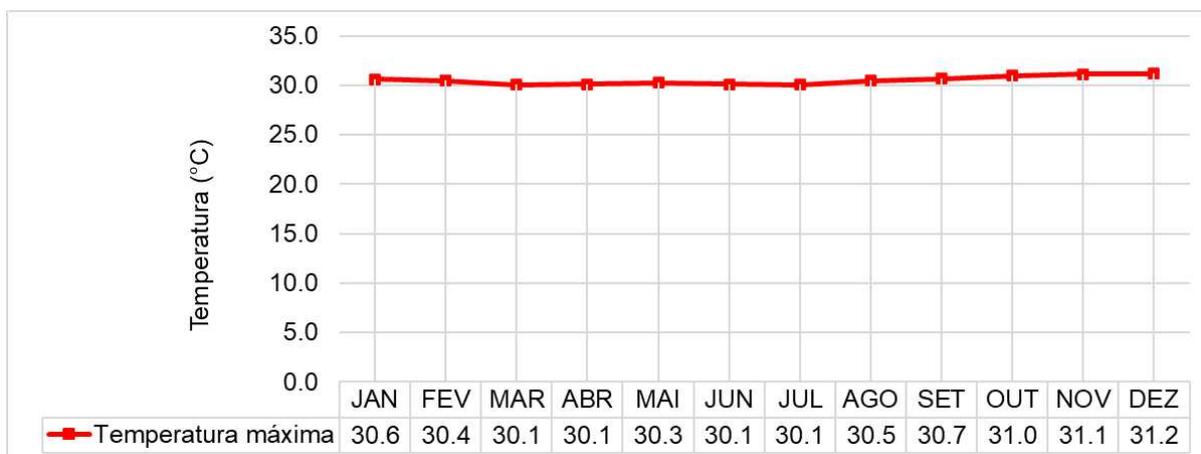
Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Temperaturas mínimas médias mensais de Fortaleza (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Temperaturas máximas médias mensais de Fortaleza (1966 – 2019)

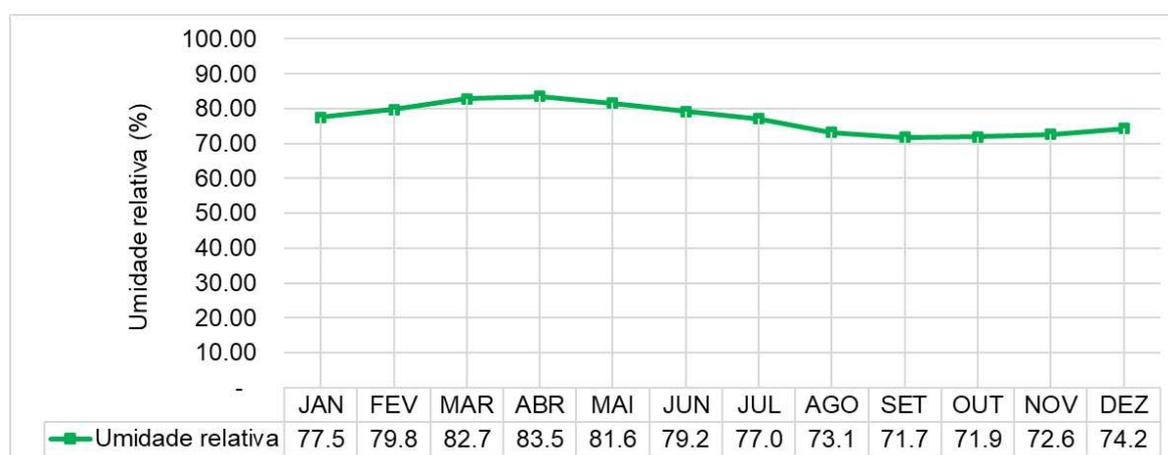


Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

O mês mais quente é dezembro, alcançando os maiores valores nos três parâmetros, apresentando temperatura média de 27,6°C, temperatura mínima de 24,6°C e temperatura máxima de 32,2°C. Já o mês com as temperaturas mais amenas é julho, onde as temperaturas médias alcançam o valor de 26,1°C, as mínimas 22,7°C e as máximas não ultrapassam os 30,1°C. As diferenças entre o mês mais quente e o menos quente é mínima, apresentando amplitudes térmicas anuais muito baixas, tanto na média, na mínima, como também na máxima, que chegam a ser 1,5°C, 1,9°C e 1,1°C respectivamente. Por estar localizada nesta faixa equatorial, Fortaleza, apresenta pouca variação térmica, devido a constante incidência de radiação solar, independente da estação do ano. Moura (2008) constatou baixa variação térmica em seu estudo, onde as amplitudes intra anuais não ultrapassam os 2°C de diferença entre o mês mais quente e menos quente.

Em relação à umidade relativa do ar, o clima de Fortaleza apresenta valores altos durante todo o ano. Os meses de março, abril e maio correspondem aos maiores valores de umidade relativa do ar, apresentando taxas acima dos 80% na série histórica analisada. Esse comportamento pode ser explicado pela concomitância da quadra chuvosa, que ocorre neste mesmo período do ano. Ao observar o gráfico da Figura 24, nota-se que apesar de os valores de umidade relativa se manterem elevados durante todo o ano, nos meses correspondentes ao final do ano (setembro, outubro e novembro) a umidade se mantém próxima dos 70% correspondendo ao período seco, onde a mEa atua com mais intensidade sem interferência de sistemas atmosféricos que causem instabilidade para o tempo.

Figura 24 – Umidade relativa do ar mensal de Fortaleza (1966 – 2019)

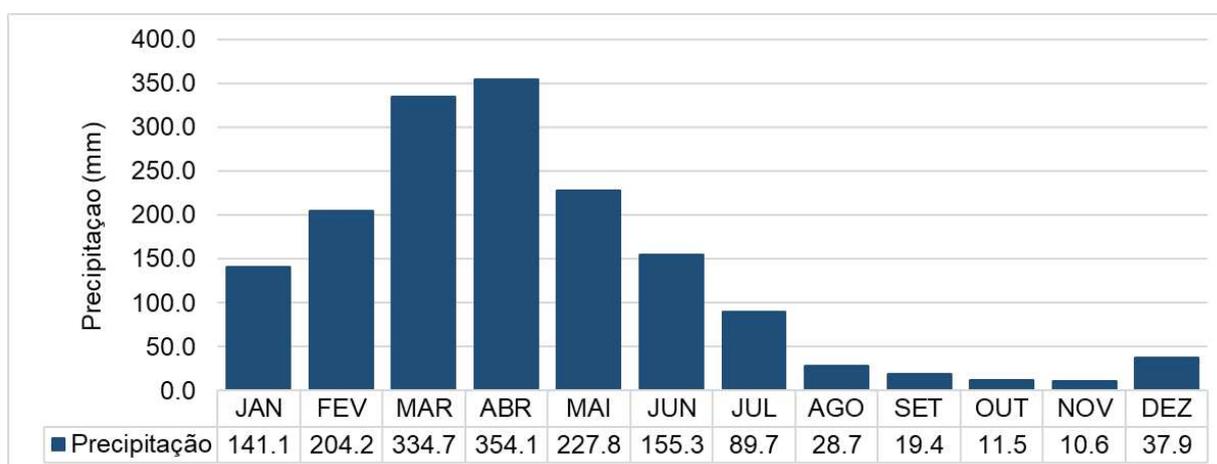


Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

As umidades relativas altas em todos os meses do ano são explicadas por Fortaleza estar localizada junto ao mar, conferindo elevadas taxas de evaporação durante o ano todo e umidades mais elevadas.

O gráfico da figura 25 apresenta o comportamento médio mensal da precipitação da cidade de Fortaleza. As chuvas caracterizam-se por serem intensas e concentradas. A média anual é de 1.615,1 no período de 1966 até 2019, sendo que, aproximadamente 70% desse valor se concentra entre os meses de fevereiro e maio.

Figura 25 – Precipitação média mensal de Fortaleza (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Para compreender a distribuição intra anual da pluviosidade na cidade de Fortaleza, é necessário entender a circulação atmosférica e os sistemas causadores de chuva, que irão gerar dois períodos distintos: chuvoso e seco. O período chuvoso se concentra no primeiro semestre do ano, sendo que os meses mais chuvosos são fevereiro, março, abril e maio (quadra chuvosa), nesse período, o sistema atmosférico atuante é a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), que encontra-se mais intensa sobre a região nordeste, atingindo o ápice de sua posição latitudinal mais ao sul durante o mês de abril, que representa o mês mais chuvoso (354,1mm).

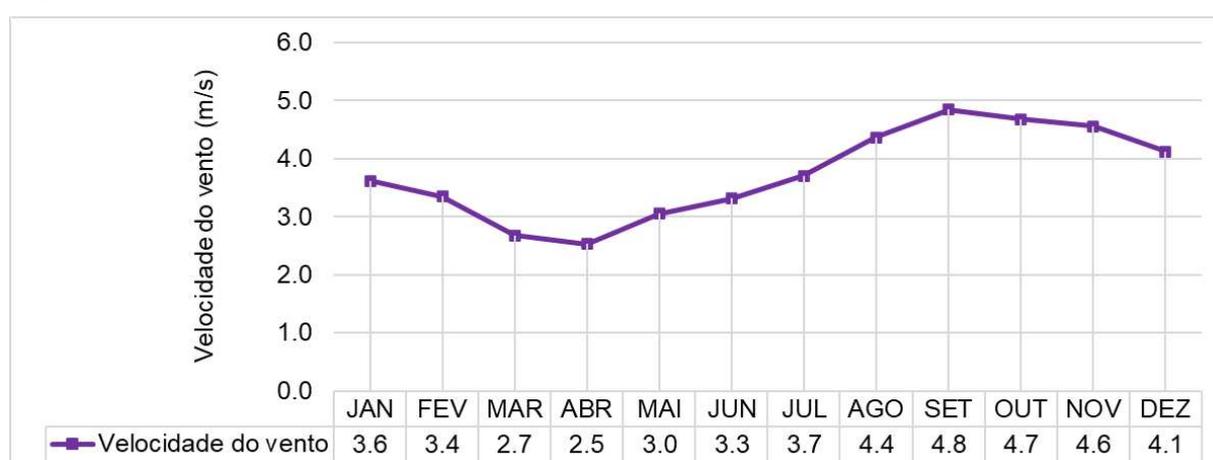
Durante o período seco, no segundo semestre do ano, identifica-se a ação da mEa, provocando estabilidade para o tempo. Os meses de agosto a novembro são os mais secos, sendo o mês de outubro o que apresenta a menor média pluviométrica (11,5mm). Durante os outros meses é possível verificar

precipitações pontuais, principalmente na pré-estação chuvosa e nos meses que sucedem a quadra chuvosa. Atuam nesse período outros sistemas atmosféricos causadores de chuva, como Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) na pré-estação chuvosa e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) nos meses após a quadra chuvosa. Outros sistemas como CCM (Complexo Convectivo de Mesoescala) e LI (Linhas de Instabilidade) atuam em menor escala. Vale salientar a importância que os fenômenos oceânicos, tanto no Atlântico (Dipolo) como no Pacífico (EÑOS), tem sobre a variabilidade pluviométrica da cidade, podendo interferir de maneira positiva e negativa no volume de chuvas dessa região.

Outra variável importante na constituição do clima regional de Fortaleza é a velocidade do vento. No norte da região nordeste do Brasil, onde Fortaleza está localizada, a influência dos Ventos Alísios de Sudeste é muito importante. Esses ventos são gerados na zona de alta pressão do ASAS e se desloca em direção ao equador térmico, tomando um sentido de leste/sudeste, atuam em praticamente todo o ano com variação em sua intensidade.

Por se localizar próximo da linha de costa, o município de Fortaleza também sofre a influência das brisas, ventos de escala local, gerados pela diferença de pressão entre a superfície do mar e a superfície da terra. Moura (2008) indica que, a velocidade do vento é inversamente proporcional ao ritmo de evolução da precipitação, como visto na Figura 26.

Figura 26 – Velocidade média mensal dos ventos em Fortaleza (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Os meses de março e abril representam as menores médias de

velocidade do vento, ficando abaixo dos 3 m/s. Esses meses são exatamente os dois mais chuvosos, mostrando a inversa proporcionalidade dessas duas variáveis. Já os meses de setembro e outubro são os que apresentam as maiores médias de velocidade do vento, correspondendo também aos meses mais secos.

Entende-se que, é importante compreender o clima regional para analisar o clima urbano, pois as variáveis climáticas de escala local e micro estão subordinadas também à dinâmica climática regional. Portanto, essa análise teve o objetivo de entender a dinâmica climática da cidade para elaborar as diretrizes de investigação do clima urbano, tendo em consideração o ambiente tropical costeiro, onde Fortaleza está inserida.

4.2 Urbanização

Devido à condição semiárida a qual se encontra grande parte do território cearense, verificam-se notórios processos de migração, como foi o caso das grandes secas de 1915 e 1932, que provocaram um intenso fluxo migratório do interior para a cidade de Fortaleza, provocando aumentos significativos na população e por consequência a expansão urbana na cidade.

De acordo com Costa (2007) a migração do campo para a cidade de Fortaleza, tem um crescente na década de 1980, mantendo-se na década seguinte. A falta de preparo e planejamento causou um aumento do número de ocupações na periferia do município, resultando em aglomerados subnormais, altamente adensada e pouco ou nenhuma infraestrutura básica.

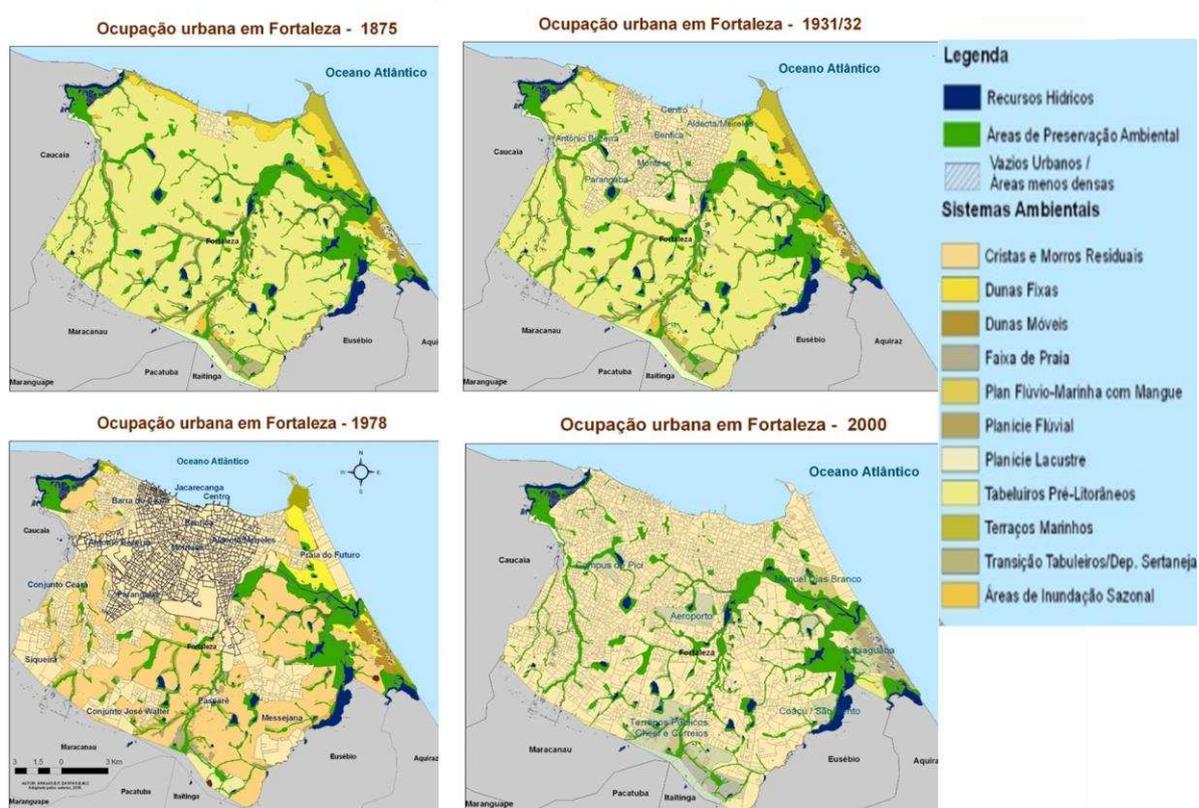
No que se refere à expansão da malha urbana e início da verticalização, Fortaleza apresenta um crescimento acentuado e evidente durante as décadas de 1970 e 1980, quando a RMF foi constituída oficialmente pela Lei Complementar Federal nº 14. No entanto, o desenvolvimento urbano ocorre de maneira desigual, ocorrendo áreas sem assistência de órgão planejadores urbanos.

Na porção oeste e sul da cidade, a infraestrutura urbana apresenta-se mais carente, principalmente em áreas periféricas, apresentando moradias precárias. Em Fortaleza, as classes mais pobres da população eram espacialmente alocadas, principalmente nos setores oeste e sul, próximo a ferrovias e estradas que davam acesso a cidade (FARIAS, 2015), pois sem infraestrutura e não urbanizadas,

essas áreas apresentavam terrenos e lotes desvalorizados. Já nos setores leste e sudeste, de acordo com Souza (2006), ocorreram as maiores valorizações imobiliárias, iniciando e consolidando os processos de verticalização, dispondo de serviços e infraestrutura.

A Figura 27 apresenta a evolução da ocupação urbana na cidade de Fortaleza, a partir do ano de 1875 até 2000. Vale ressaltar que, Fortaleza atualmente conta com 100% de seu território classificado como urbano, ocupado por edificações e lotes em praticamente toda a área da cidade, com exceções em áreas de proteção ambiental e vazios urbanos.

Figura 27 – Evolução da ocupação urbana no município de Fortaleza/CE

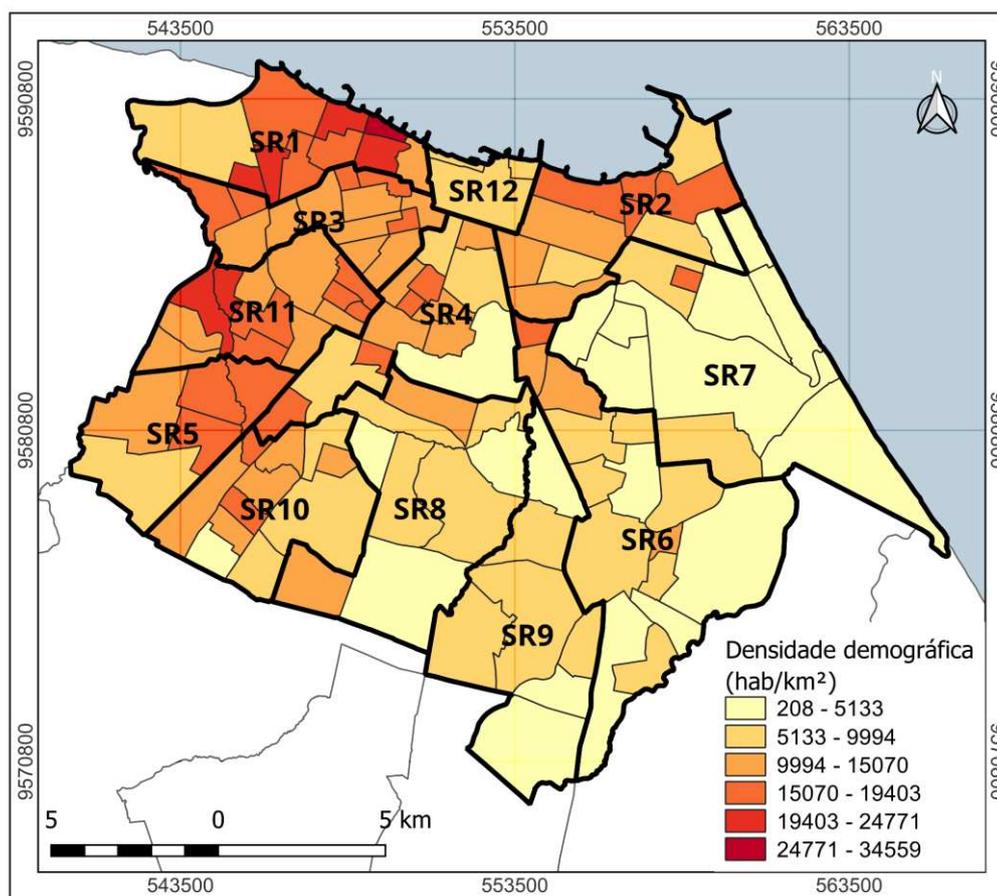


Fonte: Dantas, Costa e Zanella, 2017 (Adaptado).

A dinâmica urbana da cidade está diretamente relacionada às demandas por serviços por parte da população, o que se pode verificar através da densidade populacional. O mapa da Figura 28, indica a densidade demográfica da cidade de Fortaleza, de acordo com o último levantamento censitário. Percebe-se, a partir da análise do mapa, que a região mais ao leste do município é a que possui a menor

densidade populacional verificada. Já a periferia da cidade de Fortaleza, principalmente a situada na porção mais a oeste, com densidades demográficas muito elevadas, sendo a Regional Administrativa 1 a que registra o maior valor, onde só no bairro Pirambu, residem quase 35 mil habitantes por quilometro quadrado, sendo o bairro mais povoado da cidade.

Figura 28 – Densidade populacional do município de Fortaleza.

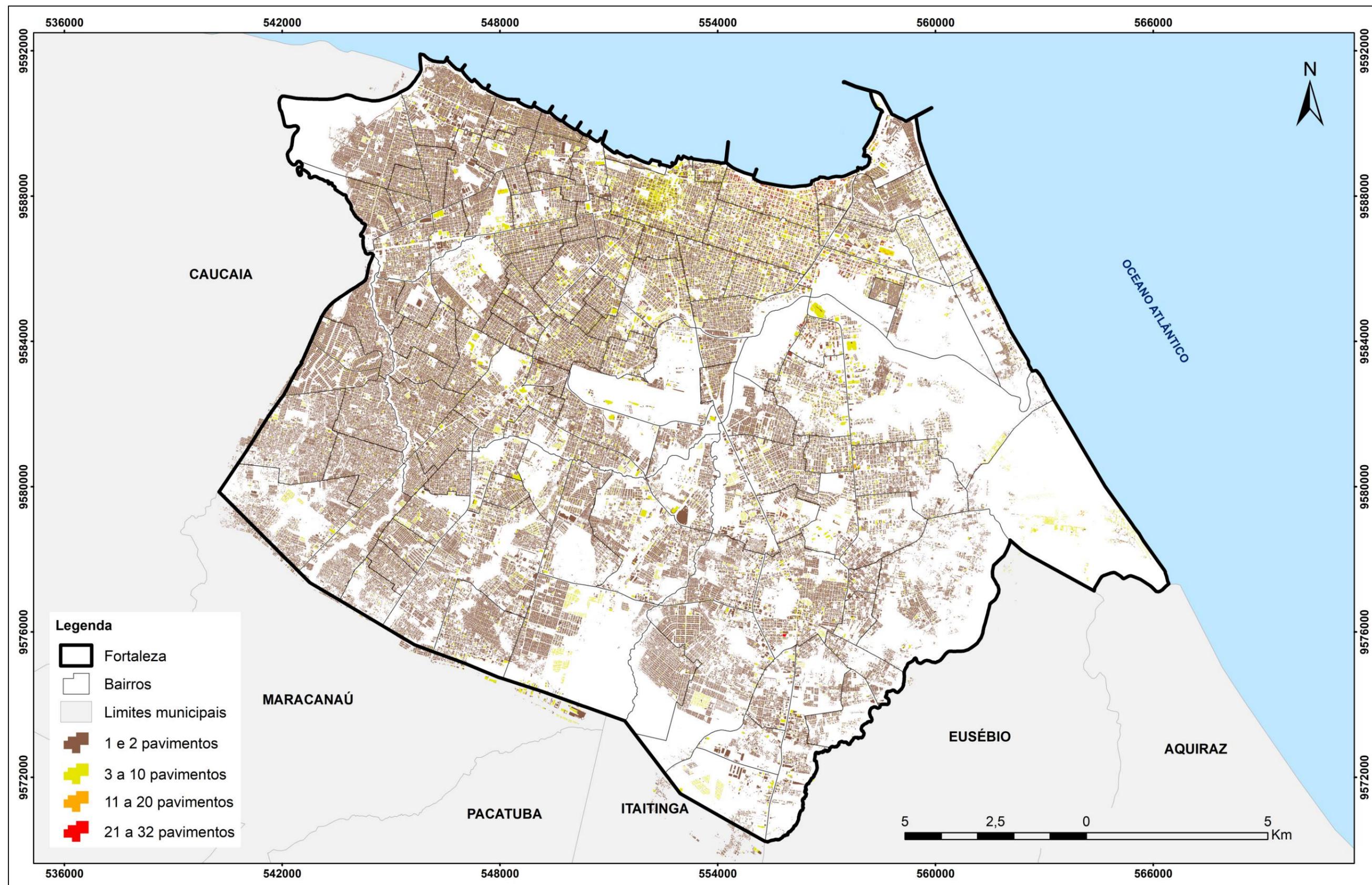


Fonte: elaborado pelo autor.

Fortaleza vem crescendo em um ritmo acelerado, sendo que, este crescimento não tem sido acompanhado por políticas ou programas habitacionais que deem respostas eficazes à procura por habitação e utilização de aparelhos urbanos. A consequência deste fenômeno consiste no crescimento de bairros onde as construções ocorrem de modo desordenado, sem obedecer a qualquer tipo de planejamento e sem dotação de infraestrutura básica.

Na Figura 29 é possível identificar o gabarito das edificações de Fortaleza.

Figura 29 – Mapa de gabarito das edificações de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

Obtido através da Secretaria de Finanças do município, que realizou um levantamento aéreo dos pontos cotados, que foram convertidos para o número de andares a partir da média do pé direito padrão da cidade. O padrão de crescimento de Fortaleza, de maneira geral, é caracterizado como horizontal, onde em todo o território da cidade são verificadas edificações de 1 e 2 pavimentos.

Através da Figura 29, é possível notar que as edificações do município de Fortaleza apresentam um padrão adensado, com pouco ou nenhum espaçamento entre os lotes (padrão geminado) e tão pouco recuos, principalmente nos setores noroeste, oeste e sudeste da cidade, onde o padrão de crescimento e ausência de estratégias de planejamento causou um adensamento significativo, sendo verificadas, principalmente, edificações de 1 e 2 pavimentos e rua e ruelas estreitas.

Em relação à verticalização intermediária, é possível visualizar que as concentrações desse padrão construtivo se dão no setor central/nordeste da cidade, onde se caracteriza pela oferta de serviços e condomínios residenciais. A maior densidade desse gabarito se dá no bairro Centro, maior área de comércio popular da cidade, nesse bairro o uso é predominantemente comercial no centro do bairro e residencial nas fronteiras com os outros bairros circunvizinhos. Ainda em relação a esse gabarito, é possível visualizar sua presença pontual em toda área da cidade, relacionado principalmente aos condomínios residenciais, presentes em praticamente todos os bairros, com número de pavimentos médio de até 4 andares.

A verticalização consolidada está presente no setor nordeste da cidade, nos bairros Meireles e Aldeota, considerados bairros de alto padrão, onde a população possui maior poder aquisitivo. Nesses bairros é possível identificar maior infraestrutura urbana e estratégias de planejamento. A ocupação nessa área é mista, com presença de prédios e edifícios comerciais, residenciais e estrutura turística mais próxima da orla.

Em termos de verticalização, a cidade apresenta um padrão consolidado em algumas áreas da cidade, no entanto, na maior parte do município verifica-se edificações de baixo porte, porém muito adensadas, podendo ser um aspecto negativo para o desenvolvimento do clima da cidade. A disposição dos prédios na orla pode prejudicar a entrada e circulação das brisas marítimas, tendo em vista que os maiores gabaritos se encontram nessas áreas.

Essas características urbanísticas são importantes para entender como está organizado o território da cidade, em suas diferentes condições de uso e

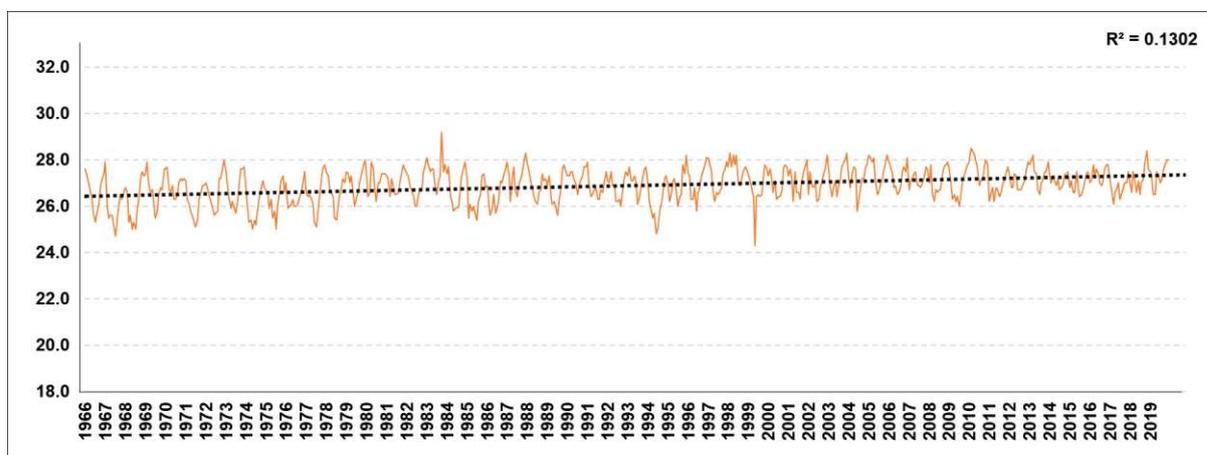
ocupação do solo. Entende-se que, essa disposição urbana tem o potencial de interferir no ganho de calor e arrefecimento da atmosfera urbana.

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA EVOLUÇÃO DO CLIMA DE FORTALEZA

Através da análise de uma série histórica de dados meteorológicos coletados entre 1966 e 2019 (um período de 54 anos) pela Estação Meteorológica do Campus do Pici, foi possível traçar a linha de tendência para cada elemento analisado, com o intuito de examinar suas tendências numéricas e estatísticas ao longo do tempo. Os elementos analisados incluíram temperatura média, temperatura máxima média, temperatura mínima média, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação. É importante ressaltar que a expansão urbana pode ter um papel significativo na alteração dos elementos do clima, especialmente em relação às temperaturas.

O gráfico a seguir (Figura 30), mostra a temperatura média anual de Fortaleza, no período analisado. Pode-se observar que a temperatura média parece estar aumentando gradualmente ao longo do tempo, ao observar a linha de tendência no gráfico. A temperatura média anual para esse período, varia de 25,92 °C (temperatura média anual registrada em 1967) e 27,78°C (temperatura média anual registrada 2010). O valor do Coeficiente de Determinação (R^2) é de 0.1302, indicando que apenas cerca de 13% da variação na temperatura média anual é explicada pelo tempo. Isso sugere que outros fatores, além do tempo, estão desempenhando um papel significativo na variação da temperatura média.

Figura 30 – Temperatura média anual em °C (1966 – 2019)



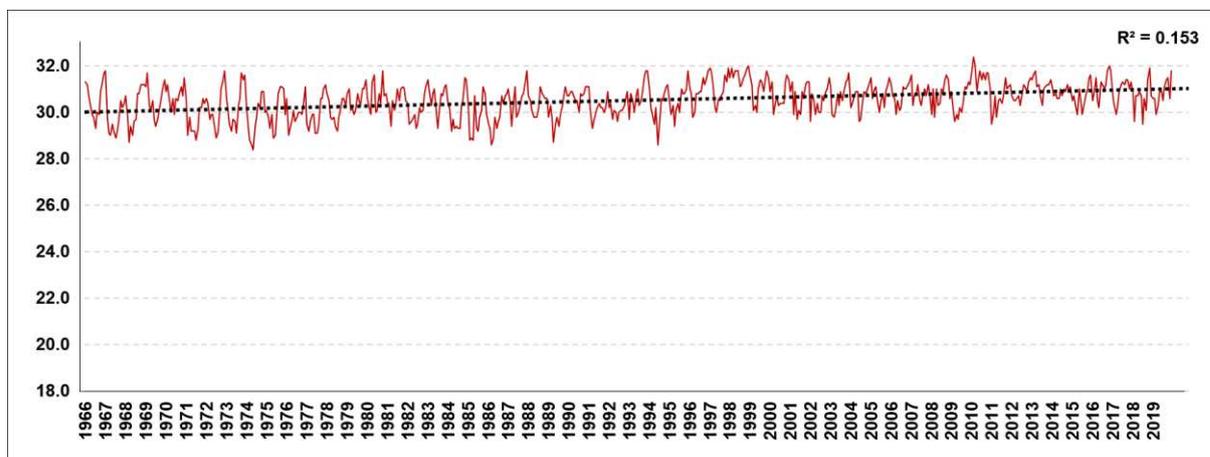
Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Em relação à Temperatura máxima média (Figura 31), percebe-se que,

com base na curva de distribuição das máximas médias mensais, há uma pequena variação, sendo possível visualizar uma leve inclinação da linha de tendência ao acréscimo, sugerindo uma tendência ao aumento desses valores térmicos para o município. Os dados variam de 29,71°C, em 1971 a 31,63°C, em 1998. O Coeficiente de Determinação para essa série de dados é de 0.153, considerado um valor baixo, que assim como a temperatura média, sugere que outros fatores, além do tempo, estão desempenhando um papel significativo na variação.

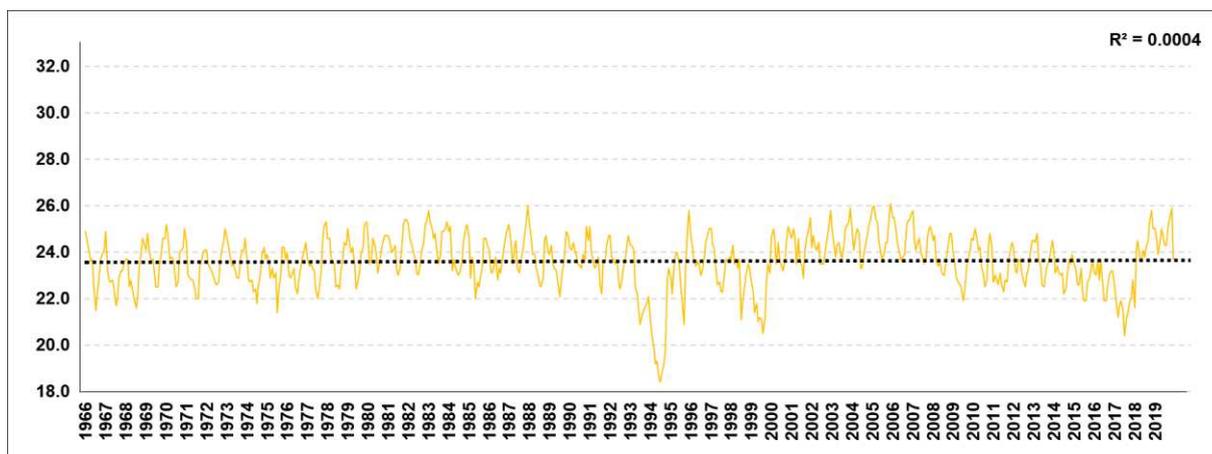
O gráfico que representa os valores de temperatura mínima média para o período analisado (Figura 32), apresenta o menor coeficiente de determinação dos dados apresentados, com um R^2 equivalente a 0.0004, ou seja, isso pode indicar que a série histórica de temperatura mínima média é muito influenciada por fatores externos ou aleatórios que não foram considerados na análise, como variações de clima extremas e imprevisíveis, mudanças na geografia local, influência de atividades humanas, entre outros fatores. A menor temperatura mínima média anual registrada foi de 20,05°C em 1994, enquanto a maior temperatura mínima média anual registrada foi de 24,93°C, em 2005.

Figura 31 – Temperatura máxima média anual em °C (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

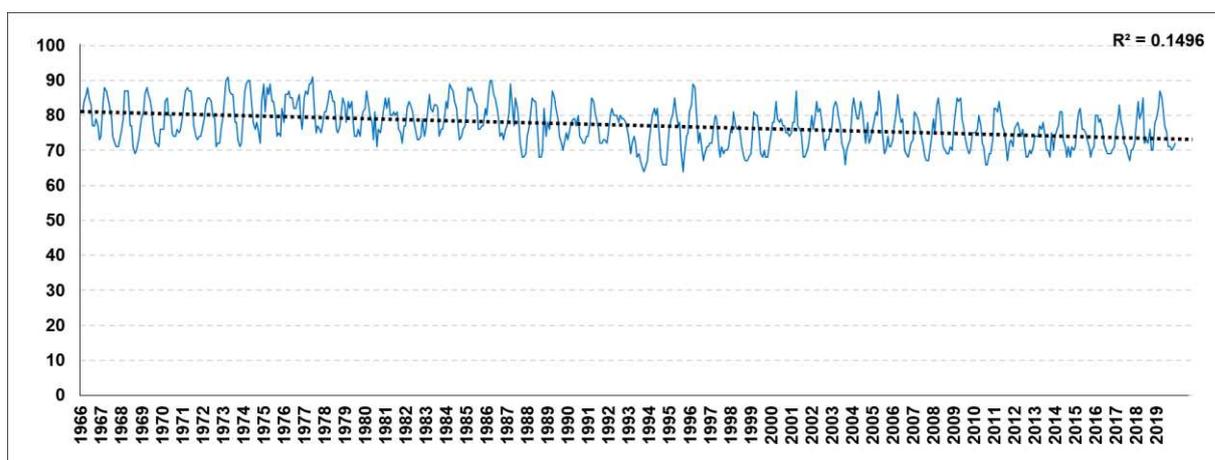
Figura 32 – Temperatura mínima média anual em °C (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

O gráfico da Figura 33 apresenta a evolução do comportamento médio da Umidade Relativa do Ar no decorrer do período analisado. É possível visualizar através da linha de tendência traçada no gráfico, que os valores médios apresentam queda no decorrer dos anos, comportamento inversamente proporcional do que ocorre com os valores de temperatura. Kalma et al. (2008) explica que, a relação entre a umidade relativa e a temperatura pode ser descrita pela Equação de Clapeyron, que estabelece que a capacidade do ar de reter vapor de água aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura. Isso significa que, para manter a umidade relativa constante, a quantidade de vapor de água presente no ar precisa ser maior em temperaturas mais altas do que em temperaturas mais baixas, o que justifica o padrão verificado entre as linhas de tendência analisadas. Mais uma vez, o coeficiente de determinação dessa série de dados, apresenta o valor mais próximo de 0 (0.1496 especificamente), indicando que a variabilidade da umidade relativa não pode ser explicada pela relação linear entre os anos e a umidade relativa. O menor valor de umidade relativa média anual registrado foi de 68,92%, no ano de 1993, enquanto a maior umidade relativa média anual aferida foi em abril de 1976, marcando um valor médio de 83%.

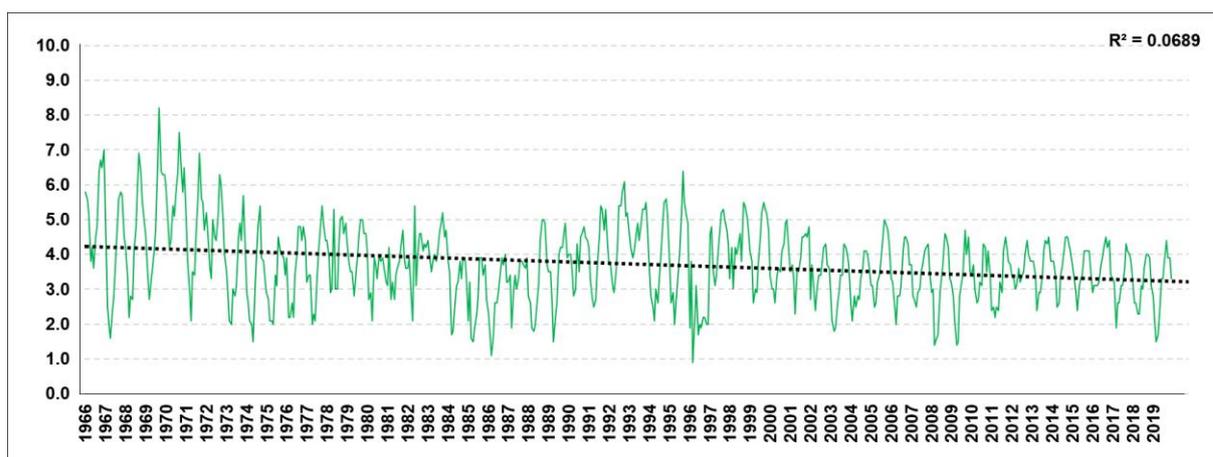
Figura 33 – Umidade relativa do ar média mensal em porcentagem (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Com relação à velocidade média do vento no município de Fortaleza, no período analisado, é possível verificar que, há um declínio visível na linha de tendência aplicada à série de dados utilizada, demonstrando tendência para o decréscimo da velocidade do vento no decorrer dos anos em Fortaleza. Mais uma vez, o R^2 (coeficiente de determinação) apresenta um valor baixíssimo, próximo de 0 (0.0689). A velocidade média anual do vento (Figura 34), variou de 2,15 metros por segundo em 1996, até 5,34 metros por segundo em 1970.

Figura 34 – Velocidade média anual em metros por segundo (1966 – 2019)

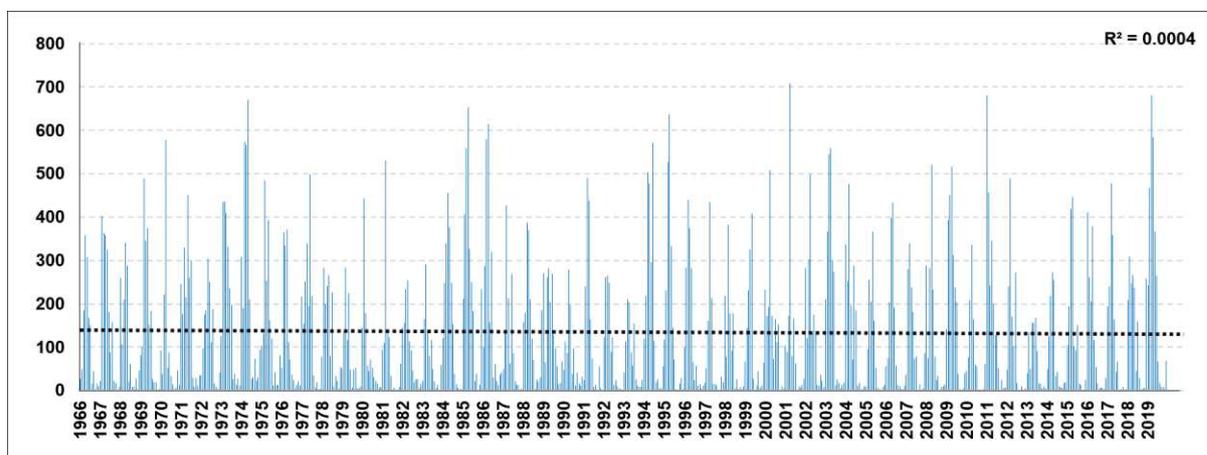


Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

Como discutido anteriormente, a precipitação é o elemento que determina a variabilidade climática nessa região, sendo fundamental para compreender a dinâmica e sobretudo as tendências de novas dinâmicas climáticas. O gráfico da

Figura 35, mostra o comportamento do acumulado anual de chuvas no decorrer do período analisado.

Figura 35 – Precipitação anual acumulada em milímetros (1966 – 2019)



Fonte: Estação Meteorológica do Campus do Pici. Elaborado pelo autor.

O coeficiente de determinação (R^2) para a série de dados em questão, é de 0.0004. Observando o gráfico, é possível visualizar a grande variabilidade da precipitação no município de Fortaleza, havendo uma alta variabilidade interanual e intra anual, onde as precipitações se distribuem de forma desigual, havendo períodos secos e habituais, seguidos de anos com valores pluviométricos mais elevados. O ano com o menor acumulado de precipitação foi 2013, com 848,5 milímetros acumulados durante o ano.

Para identificar padrões nas variáveis climáticas, não é suficiente confiar apenas na análise visual dos gráficos e no coeficiente de determinação. É essencial contar com métodos numéricos e estatísticos que possam confirmar a validade e a significância desses padrões. Nesse sentido, foi empregado o teste de Mann-Kendall, que é uma técnica estatística não paramétrica utilizada para detectar tendências monótonas em séries temporais.

Com base nos resultados do teste de Mann-Kendall para as temperaturas médias em Fortaleza, podemos observar que a temperatura média anual apresenta uma tendência significativa e crescente, com um valor de Z de 8,68 (Figura 36), indicando que a estatística de teste calculada é grande o suficiente para rejeitar a hipótese nula de que não há tendência significativa na série temporal. Isso significa que há uma forte evidência estatística de que a série apresenta uma tendência

significativa.

Os meses de janeiro e fevereiro apresentam tendências não significativas, com valores de Z próximos a zero (-0,17 e 1,39, respectivamente), não podendo afirmar que existe tendência de aumento da temperatura média no decorrer dos anos para esses meses específicos. A partir de março, todas as temperaturas médias mensais apresentam tendências significativas e crescentes, com valores de Z cada vez maiores, indicando uma tendência mais forte ao longo dos meses de maio ($Z = 4,04$) a agosto ($Z = 5,32$), meses que correspondem ao final do equinócio de outono e solstício de inverno, ou seja, o período onde as temperaturas são mais amenas tende a ser mais quente no decorrer dos anos.

Setembro a dezembro também apresentam tendências significativas e crescentes, embora com valores de Z menores do que os observados entre maio e agosto. A preocupação em relação a esse período é eminente, pois, é nesse período que se registram os maiores valores térmicos para a cidade, onde a tendência ao acréscimo pode gerar uma situação de estresse térmico ainda maior durante o equinócio de primavera e o começo do solstício de verão.

Em relação às temperaturas máximas médias é possível constatar que há uma tendência crescente, pois, todos os meses apresentam valores positivos de Z, indicando uma tendência crescente na temperatura máxima média em todas as estações do ano. Esse resultado sugere que, em média, a temperatura máxima em Fortaleza tem aumentado ao longo do tempo.

Os valores de Z variam de 0,58 em janeiro a 5,51 em junho. Isso indica que a intensidade da tendência varia de acordo com o mês, com junho apresentando a tendência mais forte. É importante notar que, embora todos os meses apresentem uma tendência crescente, alguns meses podem ter uma tendência mais forte do que outros. O mês de junho apresenta o maior valor de Z (5,51), o que sugere que a tendência na temperatura máxima média é mais forte e mais significativa nesse mês. Vale ressaltar que, mais uma vez o período referente ao solstício de inverno apresenta os maiores valores de significância.

A análise dos valores de Z da temperatura máxima média, indica uma tendência crescente na temperatura máxima média em Fortaleza, com variações na intensidade da tendência de acordo com o mês e uma tendência ao longo das estações do ano.

Ao analisar os dados de temperatura mínima média, é possível notar que

a maioria dos meses apresenta valores positivos de Z, indicando uma tendência crescente na temperatura mínima média em Fortaleza. Isso sugere que, em média, a temperatura mínima está aumentando ao longo do tempo. Os valores de Z variam de -1,17 em janeiro a 2,00 em julho. Isso indica que a intensidade da tendência varia de acordo com o mês, com julho apresentando a tendência mais forte. É importante notar que alguns meses apresentam valores de Z próximos a zero, o que sugere que a tendência pode não ser tão significativa nesses meses.

O mês de julho apresenta o maior valor de Z (2,00), o que sugere uma tendência mais forte de aumento na temperatura mínima média nesse mês em Fortaleza. Esse padrão é o mesmo em relação aos dados anteriormente descritos, onde nos meses de solstício de inverno são verificados os maiores valores de Z, indicando tendência mais forte para o aumento da temperatura média, máxima média e mínima média nesse período do ano. O mês de janeiro apresenta o menor valor de Z (-1,17), o que sugere uma tendência mais fraca ou possivelmente uma tendência de diminuição na temperatura mínima média nesse mês em Fortaleza.

No geral, a análise dos valores de Z sugere que a temperatura mínima média em Fortaleza está aumentando ao longo do tempo. No entanto, a intensidade da tendência varia de acordo com o mês, com alguns meses apresentando tendências mais fortes do que outros. Outro aspecto a se destacar é a ausência de significância na maioria dos dados analisados para a temperatura mínima média, sendo o mês de julho o único a apresentar um valor de Z estatisticamente significativo.

Analisando os valores do teste para a umidade relativa do ar, podemos observar que, todos os meses apresentam valores negativos de Z, indicando uma tendência decrescente na umidade relativa em Fortaleza. Isso sugere que, em média, a umidade relativa está diminuindo ao longo do tempo. Os valores de Z variam de -2,32 em janeiro a -5,01 em julho. Isso indica que a intensidade da tendência varia de acordo com o mês, apresentando a tendência mais forte.

A média anual apresenta o menor valor de Z (-9,74), o que sugere uma tendência mais forte de diminuição na umidade relativa ao longo dos anos em Fortaleza. O mês de julho apresenta o menor valor de Z entre os meses do ano (-5,01), o que sugere uma tendência forte de diminuição na umidade relativa nesse mês em Fortaleza, coincidindo mais uma vez com o padrão apresentado pelos dados de temperatura do ar.

No geral, a análise dos valores de Z sugere que a umidade relativa em Fortaleza está diminuindo ao longo do tempo. É importante notar que a umidade relativa é uma variável que pode ser afetada por diversos fatores, como a temperatura, a pressão atmosférica e a presença de ventos, entre outros. Por isso, é importante avaliar outros aspectos além dos valores de Z para entender melhor as tendências na umidade relativa em Fortaleza.

Com base nos valores apresentados na Figura 36, o valor de Z anual (-9,94) indica uma tendência negativa significativa na velocidade do vento ao longo do tempo em Fortaleza. Em janeiro, o valor de Z de -3,44 indica uma tendência negativa significativa na velocidade do vento ao longo do tempo. Isso sugere que a velocidade do vento em janeiro vem diminuindo ao longo do tempo.

De fevereiro a junho, os valores de Z resultados do teste estatísticos, indicam ausência de significância na tendência, pelos valores estarem próximos de 0. O mês de março é o único que apresenta um número positivo, valor de Z de 0,55 indica uma tendência positiva na velocidade do vento ao longo do tempo, sugerindo que a velocidade do vento em março vem aumentando, no entanto o valor de Z muito próximo de 0 anula a hipótese de significância estatística.

Em julho, o valor de Z de -2,02 indica uma tendência negativa significativa na velocidade do vento ao longo do tempo. Em agosto, o valor de Z de -4,24, mantendo-se elevado durante os outros meses do segundo semestre do ano. Esse período, onde os valores de Z são mais significativos, representa os meses onde a velocidade do vento é maior de acordo com dados históricos. Em geral, a análise desses meses sugere que a velocidade do vento em Fortaleza pode estar sendo influenciada por mudanças nos padrões de circulação atmosférica e em outras condições meteorológicas ao longo do tempo.

Com base nos resultados do teste de Mann-Kendall para a precipitação em Fortaleza, podemos observar que a maioria dos meses apresentou valores negativos de Z, indicando uma tendência de diminuição na precipitação ao longo dos anos. Esse resultado é especialmente evidente nos meses de agosto e setembro, que apresentaram os maiores valores negativos de Z (-2,29 e -3,06, respectivamente), indicando uma forte tendência de diminuição na precipitação nessas épocas do ano. Vale destacar que, nesses meses o acumulado de precipitação verificado no decorrer dos anos é pouco expressivo, apresentando valores baixos, por se tratar do período seco para a região.

Por outro lado, os meses de janeiro, fevereiro, abril, novembro e dezembro apresentaram valores positivos de Z, indicando uma tendência de aumento na precipitação ao longo dos anos. Vale ressaltar, no entanto, que esses valores positivos não são tão expressivos quanto os valores negativos observados em outros meses, não podendo afirmar significância estatística. Esse período compreende a estação chuvosa e pré-estação chuvosa. A média dos anos apresentou um valor negativo de Z (-1,76), indicando uma tendência de diminuição na precipitação ao longo do período analisado, no entanto, o valor exato indica ausência de significância estatística da tendência.

Figura 36 - Resultados do valor de Z do teste de Mann-Kendall

	TEMPERATURA MÉDIA	TEMPERATURA MÁXIMA MÉDIA	TEMPERATURA MÍNIMA MÉDIA	UMIDADE RELATIVA	VELOCIDADE DO VENTO	PRECIPITAÇÃO
JANEIRO	-0.17	0.58	-1.17	-2.32	-3.44	0.28
FEVEREIRO	1.39	1.94	0.14	-2.37	-1.64	1.10
MARÇO	3.34	4.01	1.38	-4.36	-0.55	-0.04
ABRIL	2.87	3.42	0.65	-4.06	-0.78	0.68
MAIO	4.04	4.24	1.46	-4.67	-1.38	-1.17
JUNHO	5.57	5.51	1.94	-4.93	-1.10	-0.75
JULHO	5.77	4.63	2.00	-5.01	-2.82	-0.87
AGOSTO	5.32	4.80	1.08	-4.36	-4.24	-2.29
SETEMBRO	3.81	4.72	0.04	-3.81	-3.39	-3.06
OUTUBRO	3.25	3.09	0.11	-3.70	-3.68	-2.87
NOVEMBRO	3.42	2.91	0.47	-3.49	-3.31	0.14
DEZEMBRO	3.05	1.75	-0.26	-4.02	-3.27	0.13
ANUAL	8.68	9.85	1.00	-9.74	-5.94	-1.76

Não há tendência estatisticamente significativa
 Há uma tendência de diminuição estatisticamente significativa
 Há uma tendência de aumento estatisticamente significativo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas análises realizadas, verifica-se que as variáveis climatológicas da cidade de Fortaleza apresentam tendências significativas ao longo dos anos, como indicado pelos valores de Z do teste de Mann-Kendall. Algumas

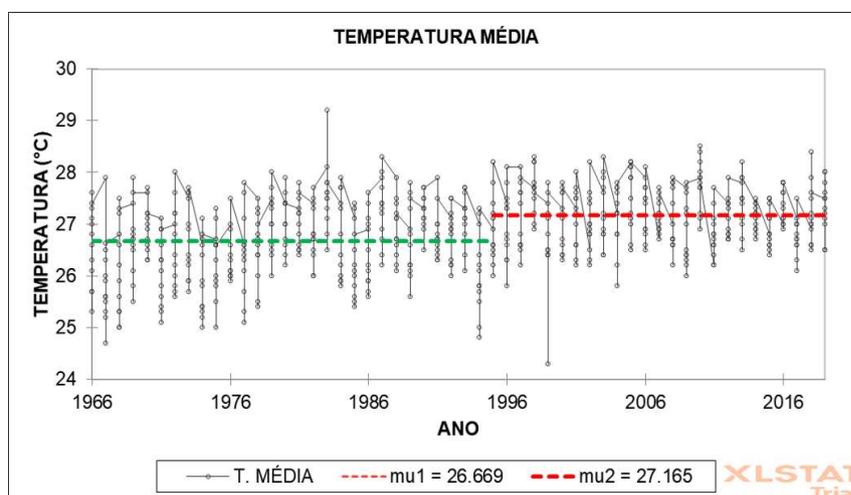
variáveis apresentam tendências positivas, como a temperatura máxima média, enquanto outras apresentam tendências negativas, como a umidade relativa e a velocidade do vento.

Após a detecção de uma tendência significativa com o teste de Mann-Kendall, o teste de Pettitt é uma ferramenta importante para verificar se essa tendência é consistente em toda a série temporal ou se houve uma mudança abrupta em algum ponto. Essa informação é relevante para a interpretação dos resultados do teste de Mann-Kendall e para uma compreensão mais precisa do comportamento da variável em análise ao longo do tempo. Portanto, o teste de Pettitt pode ser considerado como um complemento ao teste de Mann-Kendall, ajudando a detectar mudanças abruptas na série temporal.

O teste de Pettitt é usado para detectar mudanças abruptas ou não lineares em uma série temporal. O resultado do teste é uma estatística que indica a magnitude da mudança na série temporal.

No gráfico da Figura 37, é possível visualizar o resultado da estatística para a temperatura média anual do município de Fortaleza, do ano de 1966 até o ano de 2019. É possível observar um pico na estatística de Pettitt em torno do ano 1995. Isso sugere que houve uma mudança significativa na série temporal nesse ano. A partir desse ponto, a estatística de Pettitt se estabiliza, sugerindo que não houve mudanças significativas na série temporal após esse ponto. Verifica-se uma diferença de quase meio grau entre as médias dos universos verificadas.

Figura 37 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura média anuais



Fonte: Elaborado pelo autor.

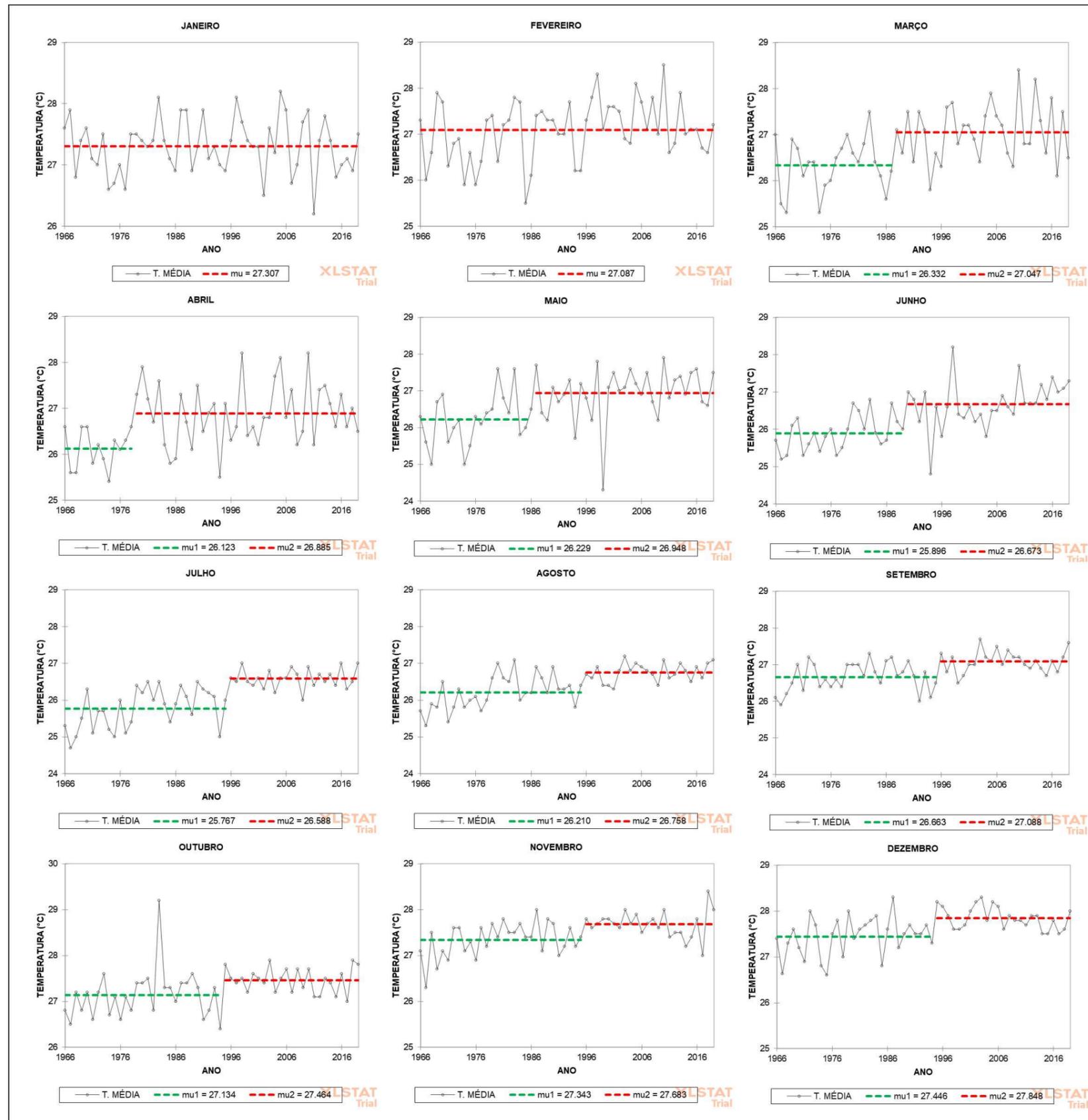
Ao analisar o gráfico relativo às médias mensais (Figura 38) é possível verificar que, apenas nos meses de janeiro e fevereiro não houve mudanças significativas na temperatura média ao longo do tempo. Nos demais meses do ano, foram identificadas mudanças significativas no padrão de variação da temperatura média. No mês de março, a partir de 1988, houve um aumento acentuado na temperatura média, onde a segunda amostra apresenta a temperatura $0,72^{\circ}\text{C}$ mais elevada em relação a primeira.

Em relação às médias mensais do mês de Abril, a mudança ocorreu depois de 1979, com diferença de $0,76^{\circ}\text{C}$ entre o μ_2 e o μ_1 . A partir do ano de 1987, as médias mensais referentes ao mês de maio apresentaram mudança de acordo com o teste de Pettitt, tendo um acréscimo de $0,72^{\circ}\text{C}$ entre as duas amostras do universo. No mês de junho, as médias revelam uma mudança a partir do ano de 1990, onde houve o acréscimo de $0,78^{\circ}\text{C}$ após esse período.

No mês de julho, é possível notar um aumento de $0,82^{\circ}\text{C}$ em relação às duas amostras verificadas no teste de Pettitt, sendo que o marco temporal para a mudança no padrão da tendência foi o ano de 1996. A partir do ano de 1996, as médias mensais do mês de agosto sofreram alteração nos padrões estabelecidos até então, obtendo um aumento de $0,55^{\circ}\text{C}$. Assim como em agosto, para os dados médios do mês de setembro, foi identificada uma mudança no comportamento da linha de tendência a partir do ano de 1996, no entanto com um acréscimo menor nas amostras, de $0,35^{\circ}\text{C}$.

No mês de outubro o aumento foi de $0,33^{\circ}\text{C}$ e o ano de ocorrência da mudança foi 1995. Mais uma vez, o ano de 1996 foi o marco temporal de alteração da linha de tendência, no mês de novembro além deste padrão, se manteve também a média do valor acrescido, de $0,34^{\circ}\text{C}$. Os dados de dezembro sofrem alteração após o ano de 1995, com um acréscimo de $0,40^{\circ}\text{C}$.

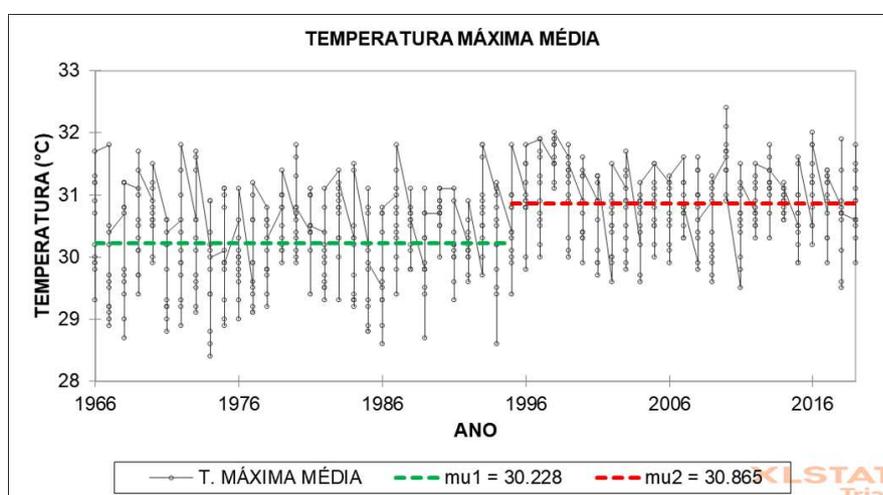
Figura 38 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura média mensal



Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico da Figura 39 apresenta a estatística para a temperatura máxima média anual da cidade de Fortaleza. No gráfico da série temporal da temperatura máxima média, é evidente um aumento abrupto na estatística de Pettitt após o ano de 1995, indicando uma mudança significativa na série nesse período. Após essa mudança, a estatística de Pettitt permanece estável. Além disso, é possível observar uma diferença de cerca de 0,64 graus Celsius entre as médias dos conjuntos de dados analisados.

Figura 39 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura máxima média anuais



Fonte: Elaborado pelo autor.

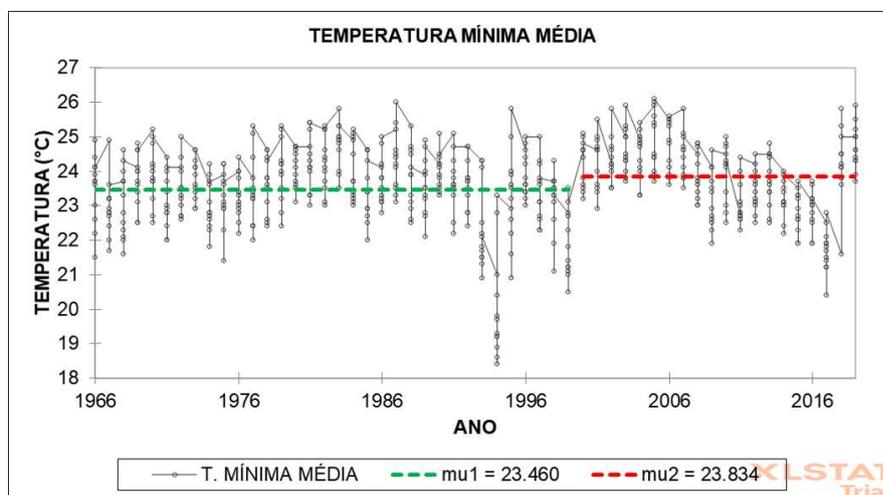
Analisando o gráfico referente às máximas médias mensais da temperatura (Figura 41), é possível constatar que somente o mês de janeiro apresentou uma estabilidade na temperatura máxima média ao longo do período analisado. Por outro lado, os demais meses do ano apresentaram mudanças significativas na temperatura média, indicando uma possível influência de fatores climáticos ou antrópicos nesses meses.

No mês de fevereiro é verificada uma ruptura da linha de tendência após o ano de 1996, com acréscimo de 0,64°C em relação às amostras. No mês de março, a partir de 1993, houve um aumento significativo na temperatura máxima média, com a segunda amostra apresentando uma temperatura 0,87°C mais alta em relação à primeira amostra. No mês de abril, a mudança ocorreu após 1997, com uma diferença de 0,74°C entre as amostras. A partir de 1993, as máximas médias do mês de maio apresentaram uma mudança significativa de acordo com o teste de

Pettitt, com um aumento de $0,67^{\circ}\text{C}$ entre as duas amostras do universo.

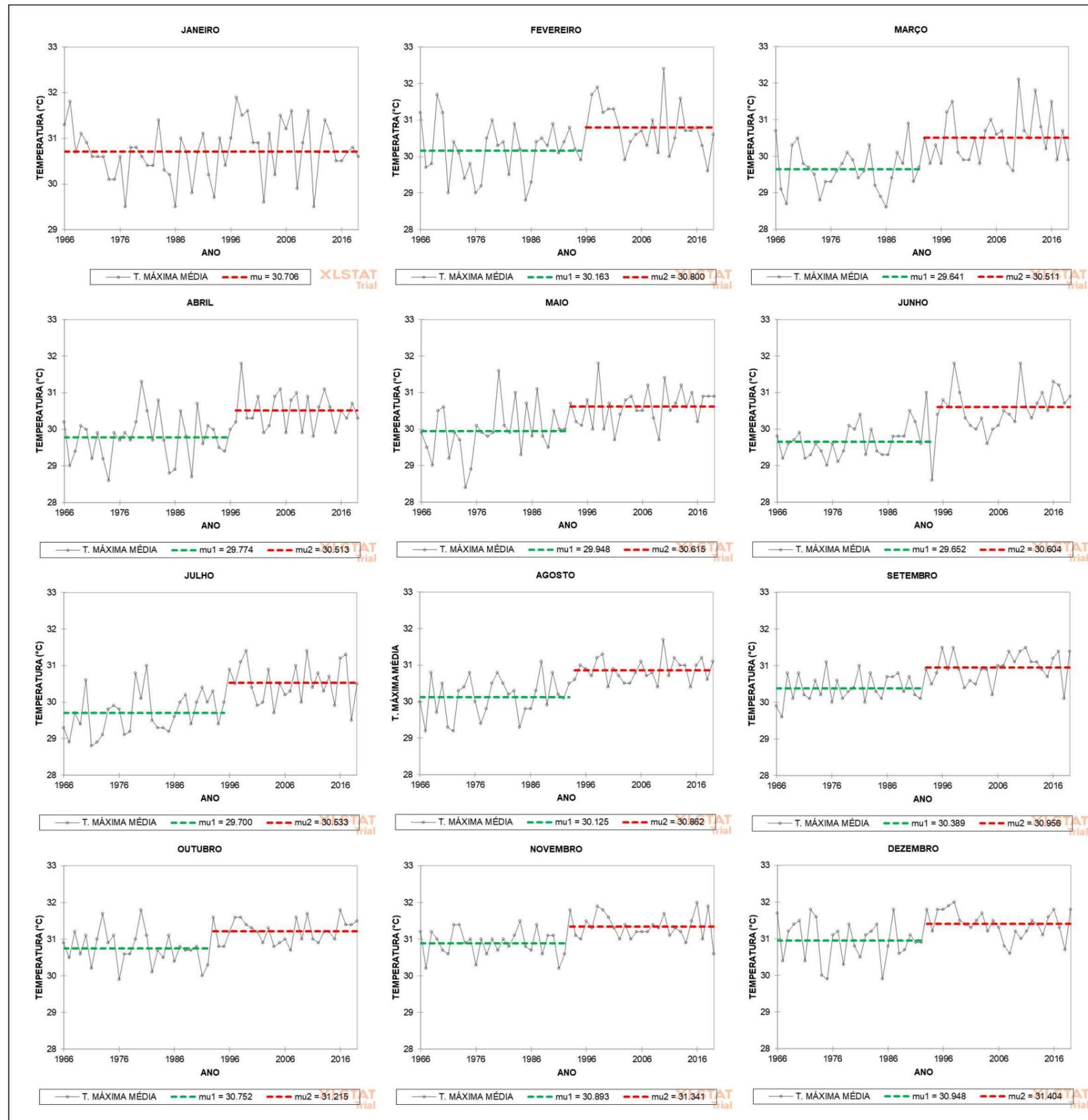
No mês de junho, as máximas médias revelam uma mudança a partir de 1996, com um aumento de $0,78^{\circ}\text{C}$ após esse período. Em julho, houve um aumento de $0,73^{\circ}\text{C}$ em relação às duas amostras verificadas no teste de Pettitt, sendo que o ano de 1996 marcou a mudança no padrão da tendência. A partir de 1994, as máximas médias mensais de agosto sofreram alterações nos padrões estabelecidos até então, com um aumento de $0,74^{\circ}\text{C}$. Para os dados máximos médios de setembro, foi identificada uma mudança no comportamento da linha de tendência a partir do ano de 1993, com um aumento nas amostras de $0,57^{\circ}\text{C}$. No mês de outubro, houve um aumento de $0,46^{\circ}\text{C}$, e o ano de ocorrência da mudança foi em 1993. Mais uma vez, o ano de 1993 foi o marco temporal da alteração da linha de tendência, e no mês de novembro, além deste padrão, a média do valor acrescido se manteve em cerca de $0,45^{\circ}\text{C}$. Os dados de dezembro sofreram alteração após o ano de 1993, com um acréscimo de $0,46^{\circ}\text{C}$.

Figura 40 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura mínima média anuais



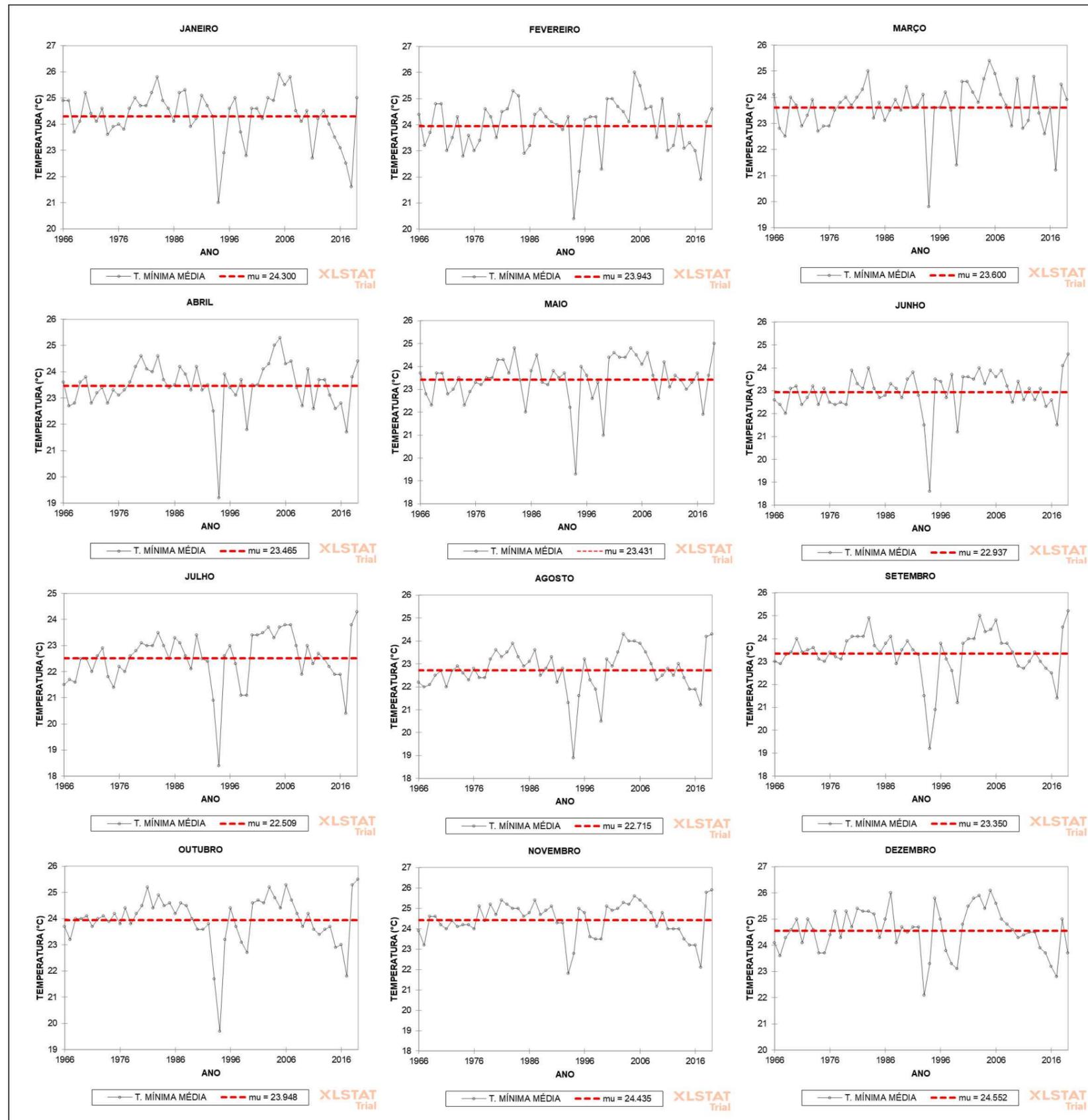
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura máxima média mensais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de temperatura mínima média mensais

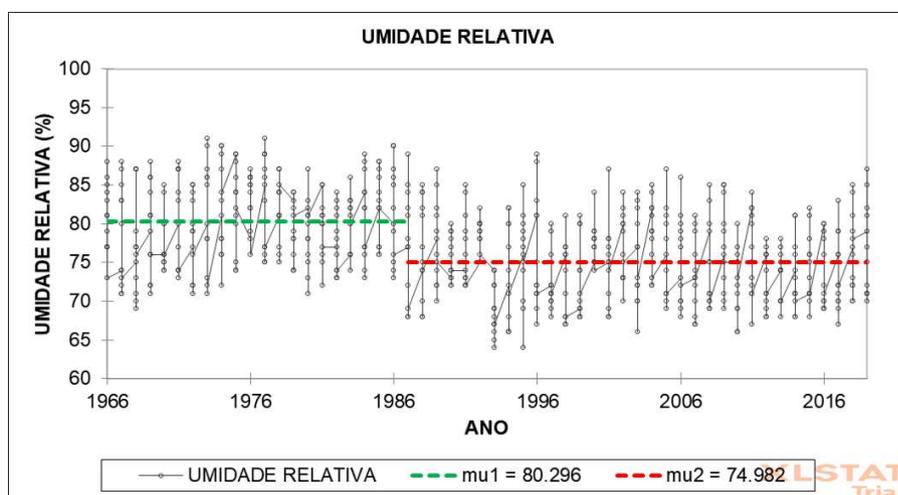


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 40, é possível visualizar o gráfico resultado do teste estatístico de Pettitt para a temperatura mínima média anual da cidade de Fortaleza. O resultado de Mann-Kendall para essa série de dados apontou tendência para acréscimo da temperatura mínima média anual do município (valor de $Z=1.00$), no entanto não apresenta significância estatística, devido ao valor resultante do teste. Essa informação é necessária para entender o resultado do teste de Pettitt para essa série, pois como é possível visualizar, apresenta um ponto de ruptura na tendência, no ano de 2000, porém com um acréscimo pequeno de $0,37^{\circ}\text{C}$. Enquanto nos dados referentes a temperatura mínima média mensal, não foram identificadas rupturas nas linhas de tendência (Figura 42).

A umidade relativa do ar apresenta um padrão inversamente proporcional à temperatura, se para as séries de temperatura média, máxima média e mínima média houve o aumento dos valores registrados em relação as amostras verificadas, para a umidade relativa ocorre o oposto, onde há uma diminuição da porcentagem desse elemento, sendo verificada uma tendência ao decréscimo. No gráfico da Figura 43, é possível visualizar que há uma ruptura no padrão da tendência da umidade relativa do ar, que ocorre em meados de 1987. A partir desse ano especificamente, os valores diminuíram exponencialmente, onde a média do universo 1 (μ_1) era $80,30\%$, e depois do ano em questão passou a ser $74,98\%$, minuíndo $5,31\%$ no decorrer desses anos, demonstrando tendência significativa ao decréscimo dessa variável.

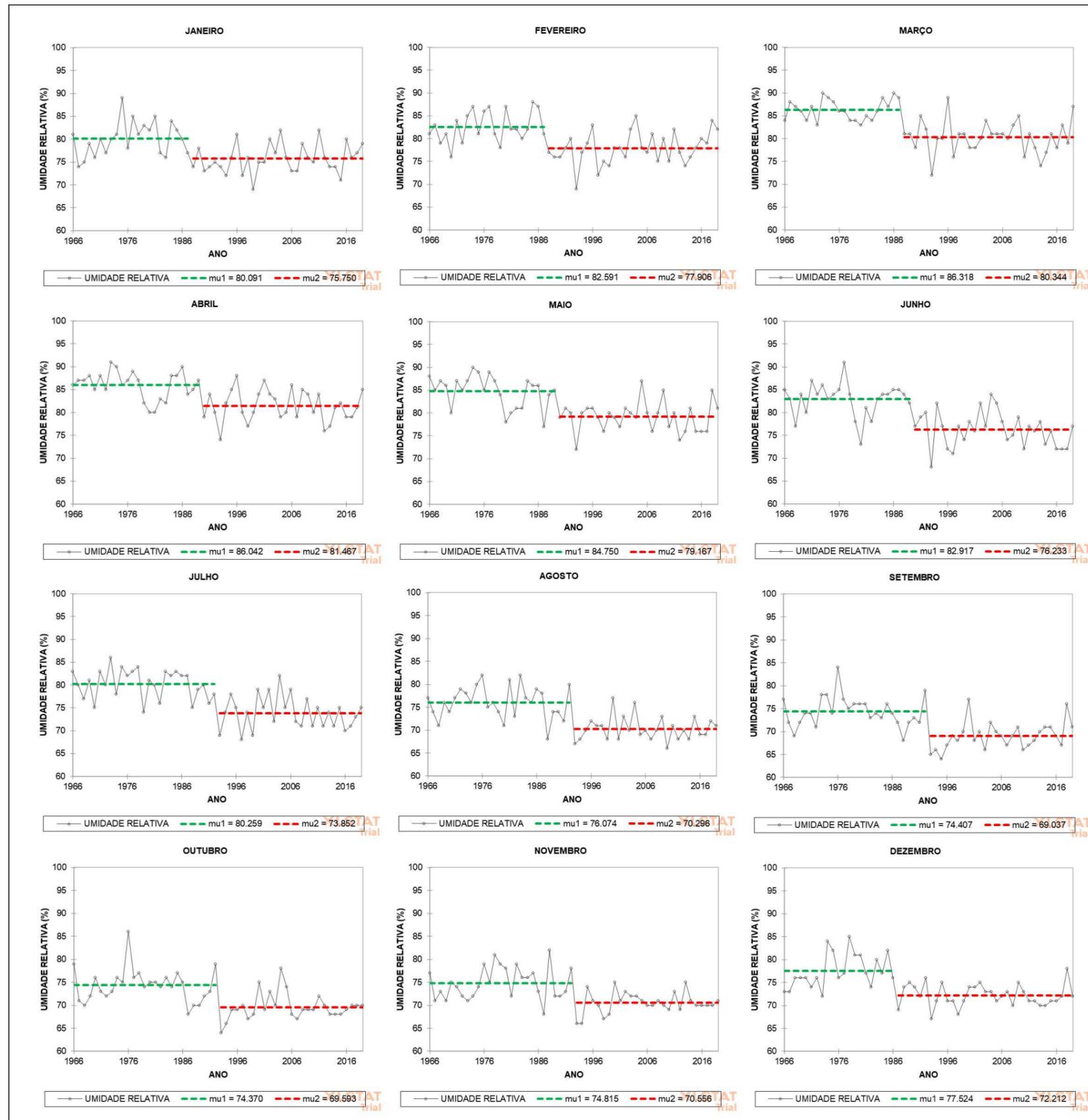
Figura 43 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de umidade relativa do ar anuais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às médias mensais do período analisado (Figura 44), todos os meses apresentaram decréscimo e um ponto de mudança brusca na linha de tendência para essa série de dados. Em janeiro, fevereiro e março, o ano que ocorreu a mudança no comportamento da umidade relativa foi 1988, onde a umidade relativa do ar sofreu um decréscimo de 4,34%, 2,69% e 5,97%, respectivamente. Para o mês de abril, maio e junho o período de ruptura brusca da linha de tendência foi o ano de 1990, onde houve uma diminuição de 4,58%, 5,58% e 6,68%, respectivamente, em relação às médias das amostras (μ_1 e μ_2). Nos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro, as mudanças bruscas no padrão da linha de tendência ocorreram no ano de 1993, onde foram observados decréscimos de 6,41%, 5,78%, 5,37%, 4,78% e 4,26%, respectivamente. Para o mês de dezembro, foi verificado um decréscimo de 4,31% após o ano de 1987.

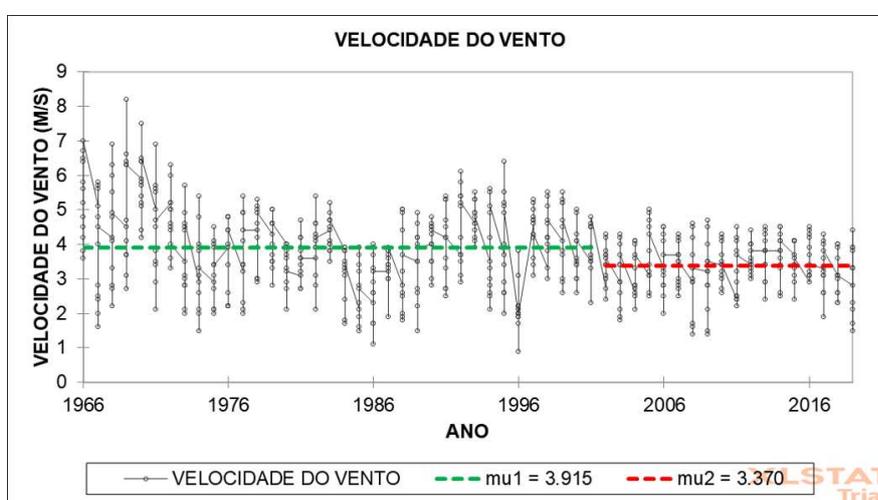
Figura 44 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de umidade relativa do ar mensais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como o padrão apresentado pela umidade relativa do ar, a velocidade do vento também demonstrou tendência para a diminuição no período analisado. Podemos observar no gráfico da Figura 45 uma mudança no padrão da tendência da média anual da velocidade do vento por volta de 2002. A partir desse ano, houve uma diminuição nos valores, com a média do universo 1 (μ_1) caindo de 3,92 m/s (metros por segundo) para 3,37 m/s, uma redução de 0,55 m/s ao longo dos anos. Isso indica uma tendência significativa de diminuição nessa variável.

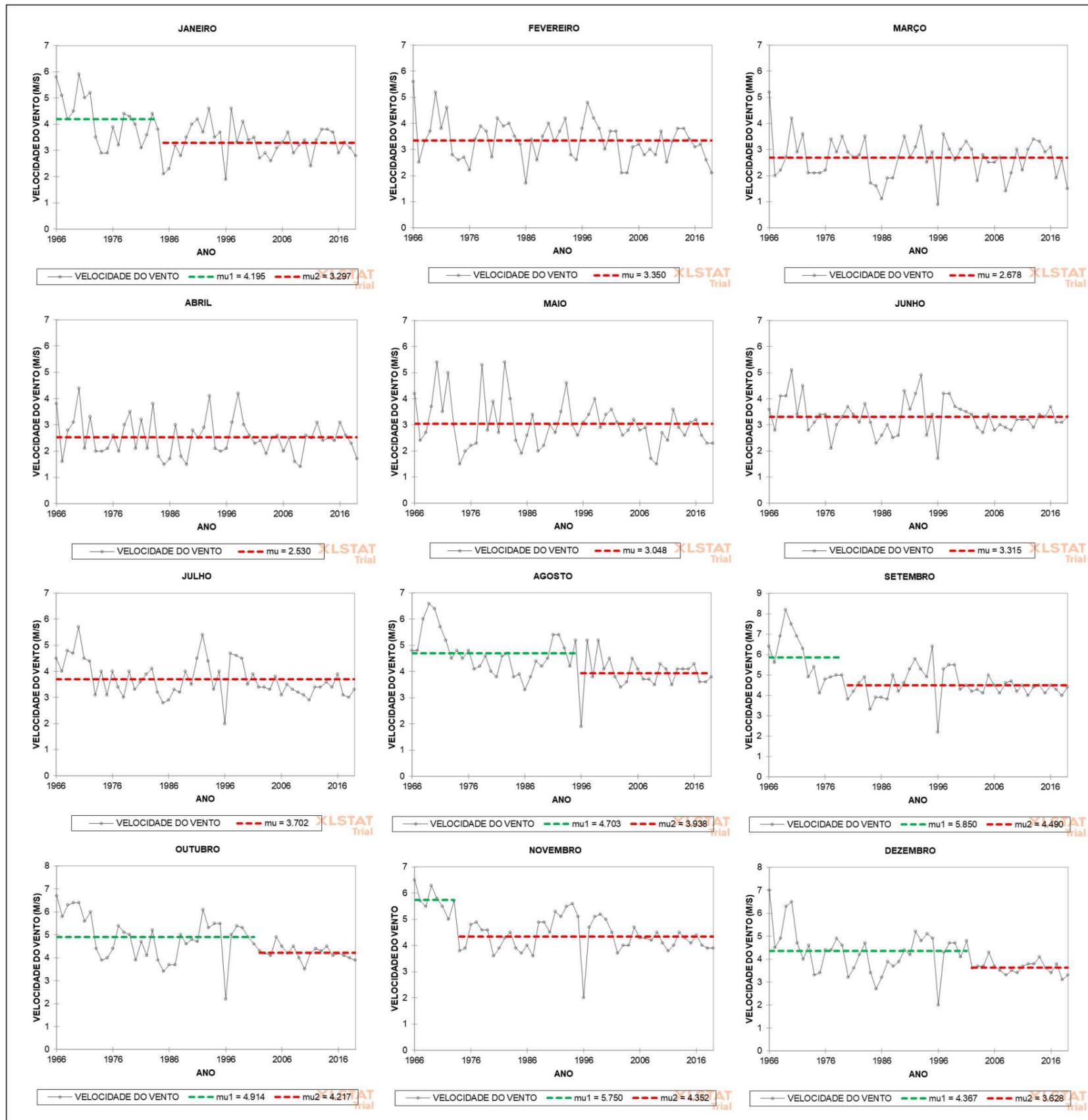
Figura 45 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de velocidade do vento anuais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como no teste de Mann-Kendall, onde os meses de fevereiro a junho não apresentaram significância estatística da linha de tendência, o teste de Pettitt não identificou pontos de ruptura significativos na mudança da linha para esses meses. Para o mês de janeiro, o marco temporal na mudança do comportamento da linha de tendência foi o ano de 1985, onde o valor da média do universo diminuiu 0,90 m/s. Para o mês de julho, o teste de Pettitt também não conseguiu identificar um ponto de mudança abrupta. Em relação às médias do mês de agosto, a partir do resultado do teste, identificou-se que houve uma mudança no padrão da tendência após o ano de 1996, onde a média do universo diminuiu 0,77 m/s em relação ao período anterior. No mês de setembro, houve um decréscimo de 1,36 m/s na média do universo a partir do ano de 1980. Para o mês de outubro, verificou-se após o ano de 2002, uma diminuição no valor médio da velocidade do vento de 0,70 m/s. O mês de novembro registrou um decréscimo de 1,40 m/s a partir de 1974, enquanto dezembro, após o ano de 2022, registrou queda de 0,74 m/s.

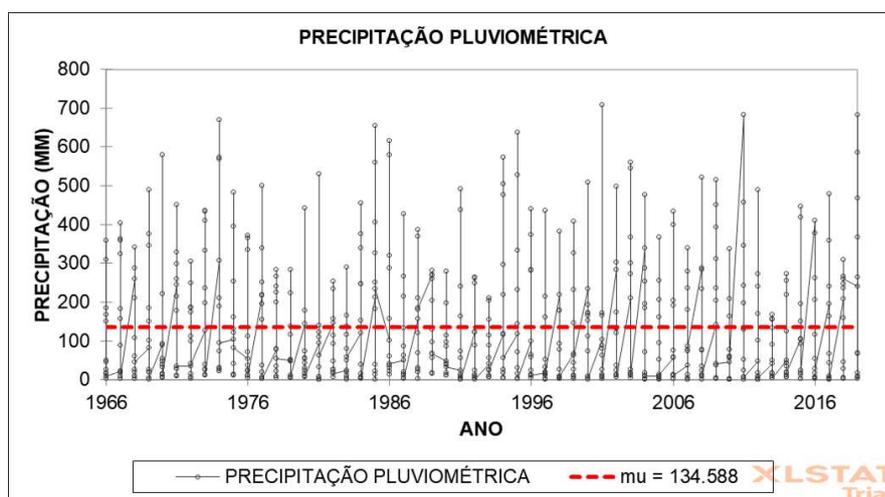
Figura 46 – Resultado do teste de Pettitt para os valores velocidade do vento mensais



Fonte: elaborado pelo autor.

A última variável analisada nesta seção, foi a precipitação pluviométrica. No decorrer dos anos, a partir do teste de Mann-Kendall é correto afirmar que não há significância estatística para a flutuação desta variável no decorrer dos anos, isso se confirma a partir do resultado do teste de Pettitt (Figura 47), onde não foi identificado nenhum ponto de mudança brusca na série de dados analisados.

Figura 47 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de precipitação pluviométrica anuais

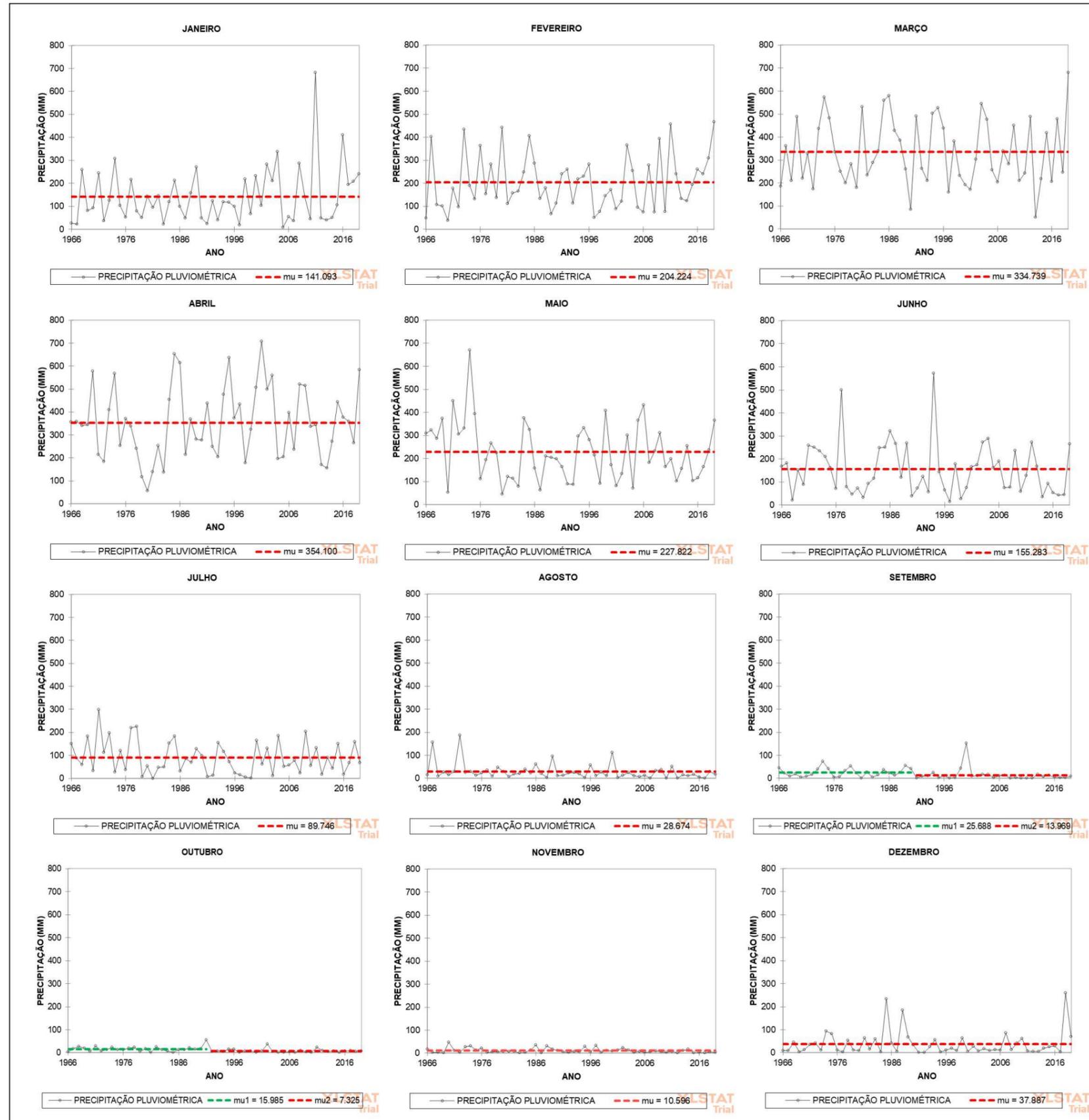


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os dados mensais referentes a essa variável (Figura 48), percebe-se que apenas os meses de setembro e outubro apresentaram ruptura brusca na linha de tendência da série histórica analisada. Para o mês de setembro, a média do universo antes de 1991 era de 25,69 milímetros (mm) de precipitação, e passou a ser 13,97 mm após esse marco temporal, obtendo um decréscimo de 11,72 mm entre as médias supracitadas. Essa diminuição também é verificada no mês de outubro, onde antes do ano de 1992 a média do universo era de 15,99 mm de precipitação média acumulada para esse mês, passando para 7,33 mm após o ano supracitado, registrando uma diminuição de 8,66 mm.

Vale ressaltar que, os meses onde os testes verificaram tendência estatisticamente significativa ao decréscimo, consistem nos meses menos representativos para essa variável, pois os maiores volumes pluviométricos acontecem no primeiro semestre do ano, entre os meses de fevereiro e maio, sendo setembro e outubro meses com os menores registros de precipitação de acordo com os dados de séries históricas.

Figura 48 – Resultado do teste de Pettitt para os valores de precipitação pluviométrica mensais



Fonte: Elaborado pelo autor.

A interpretação dos resultados obtidos através dos testes estatísticos, confirmam que, as variáveis climáticas aferidas no município de Fortaleza vem passando por alterações significativas, mesmo que de maneira não linear. O elemento climático que apresenta alteração mais evidente é a temperatura do ar, onde é possível notar que houve significativa alteração no decorrer do período analisado, principalmente quando observadas as temperaturas médias e máximas médias.

Ao constatar que a cidade passou por uma mudança no comportamento dos elementos climáticos, se faz necessário compreender os elementos locais relacionados a essas alterações. Para tanto serão necessários diferentes métodos investigativos, devido à carência de monitoramento climático que afeta, não só Fortaleza, mas a região nordeste brasileira.

Para tanto, será utilizado o *Urban Climatic Map*, modelo espacial de representação do clima urbano, a partir de parâmetros urbanísticos e ambientais locais, que influenciem na capacidade de carga térmica e potencial dinâmico da cidade, para compreender a heterogeneidade do espaço urbano e seus efeitos no clima local.

6 URBAN CLIMATIC MAP DA CIDADE DE FORTALEZA

Nesse capítulo são apresentadas e analisadas as camadas que compõe o Mapa de análises climáticas da cidade de Fortaleza, a partir da metodologia descrita anteriormente na sessão 3.3.1, considerando a carga térmica e potencial dinâmico como fatores predominantes no entendimento do clima das cidades. Para a elaboração dos mapas, foi utilizado o *software* SIG ArcGIS 10.4, sendo que, o sistema de coordenadas base para as operações foi o SIRGAS 2000 UTM Zona 24 S.

6.1 Camada 1: mapa de volume edificado

O microclima urbano é diretamente influenciado pelas diferentes formas da geometria urbana, atentando para a densidade das edificações, que geram diferentes condições para os elementos climáticos locais, tais como redução da velocidade do vento e diferenças térmicas intra urbanas.

Tendo em vista as características climáticas onde a cidade de Fortaleza se encontra (clima quente e úmido), condições de alta densidade de edificações tem influência negativa, contribuindo para um potencial ganho de calor e aumento do estresse térmico na cidade. São considerados alguns pontos para a abordagem do volume de edificações, a carga térmica gerada pelos materiais construtivos e a alteração no escoamento dos ventos em escala local, pontos estes considerados prejudiciais ao conforto térmico e, portanto, ao microclima urbano.

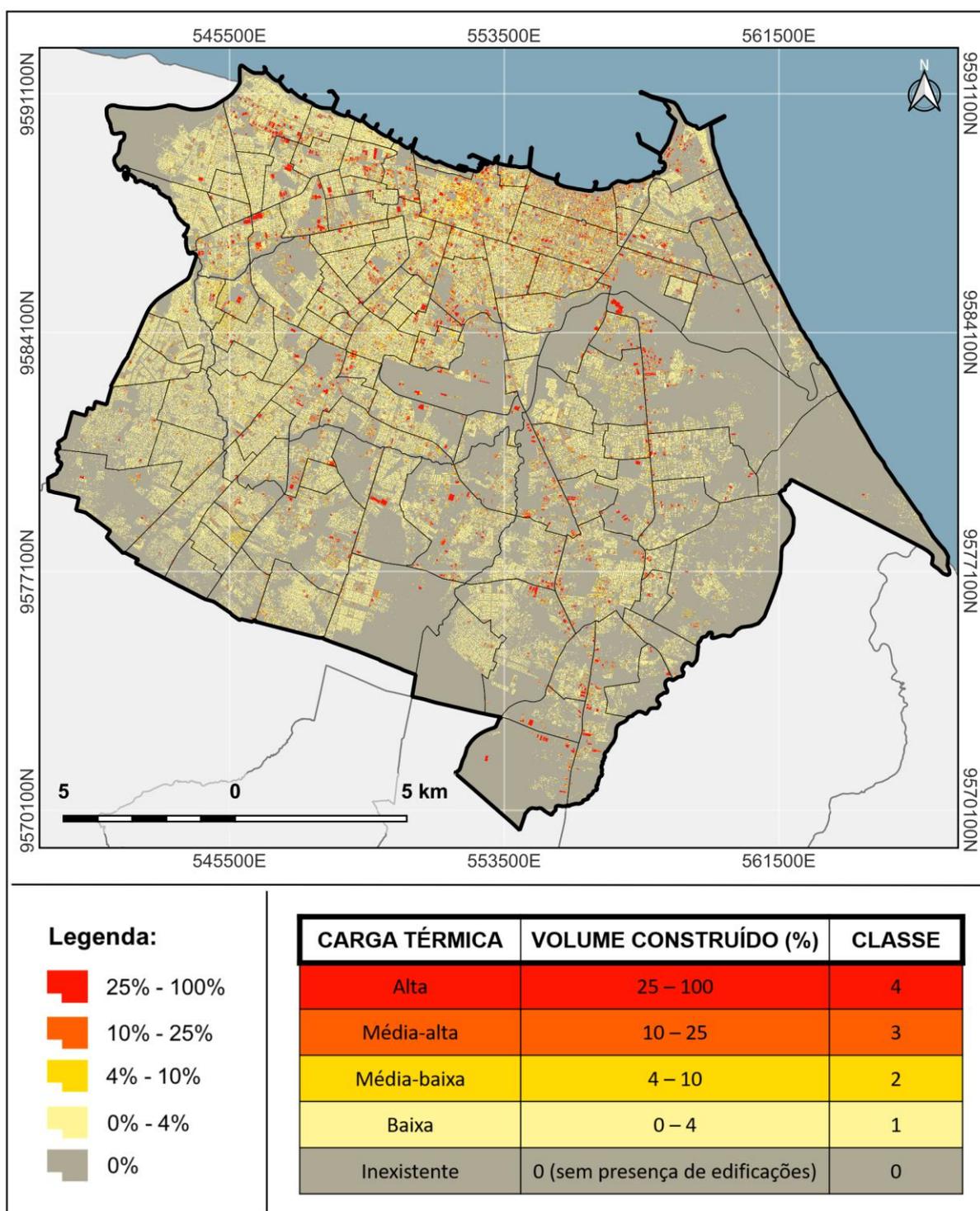
Em Fortaleza, há uma grande diversificação no uso do solo, sendo a maior parte da cidade destinada ao uso residencial, no entanto outros setores como comercial e industrial também são verificados no território fortalezense. Esses padrões de ocupação repercutem nas formas edificadas encontradas na cidade, seja em seu desenvolvimento horizontal ou vertical.

Para a elaboração do mapa de volume edificado, utilizou-se informações da projeção de cada edificação (área) e do gabarito em altura. Esses valores foram multiplicados dentro do sistema de informação geográfica, resultando o volume edificado, que pode ser visualizado na Figura 49.

Para estabelecer as classes representadas optou-se por dividi-las em cinco, onde, estabeleceu-se o maior valor encontrado como 100% e posteriormente

os outros de acordo com os intervalos estabelecidos (0%, 0% a 4%, 4% a 10%, 10% a 25% e 25% a 100%). Após o estabelecimento dos intervalos, estes foram reclassificados de acordo com o potencial de carga térmica, seguindo os preceitos de que, quanto maior o volume edificado maior a carga térmica (valores de 0 a 4).

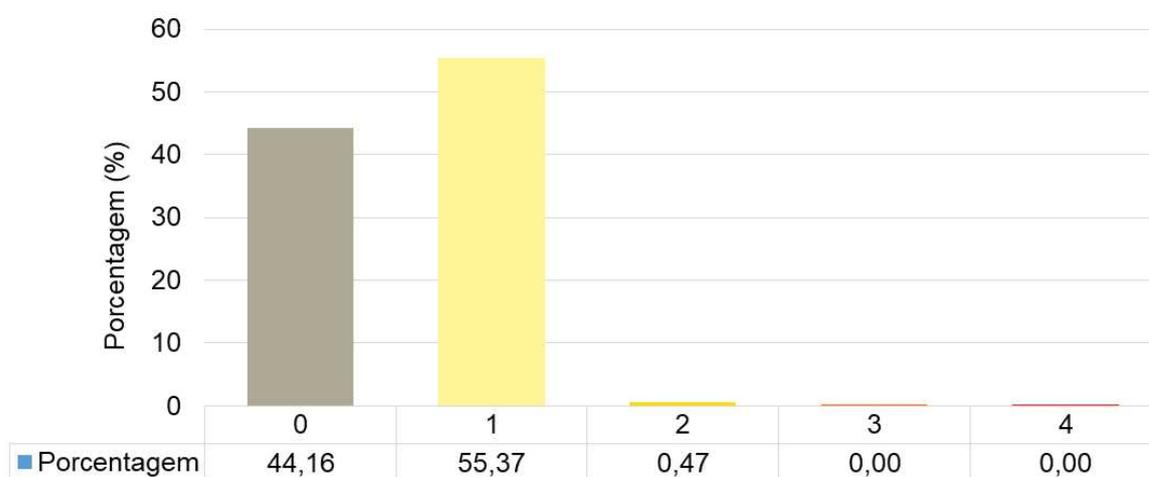
Figura 49 – Mapa de volume edificado da cidade de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

Através do mapa de volume edificado foi possível identificar as áreas que correspondem a cada classe gerada na primeira camada. A classe 1 (volume edificado de 0% a 4%) ocupa cerca de 55,37% da área total do município de Fortaleza. As classes 2 (4% a 10%), 3 (10% a 25%) e 4 (25% a 100%), juntas, são pouco representativas em relação ao total. A classe 0, que corresponde aos ambientes sem edificações (áreas com vegetação, solo exposto ou mesmo áreas pavimentadas sem edificações), representa 44,16% do território da cidade.

Figura 50 – Distribuição das classes de volume edificado de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

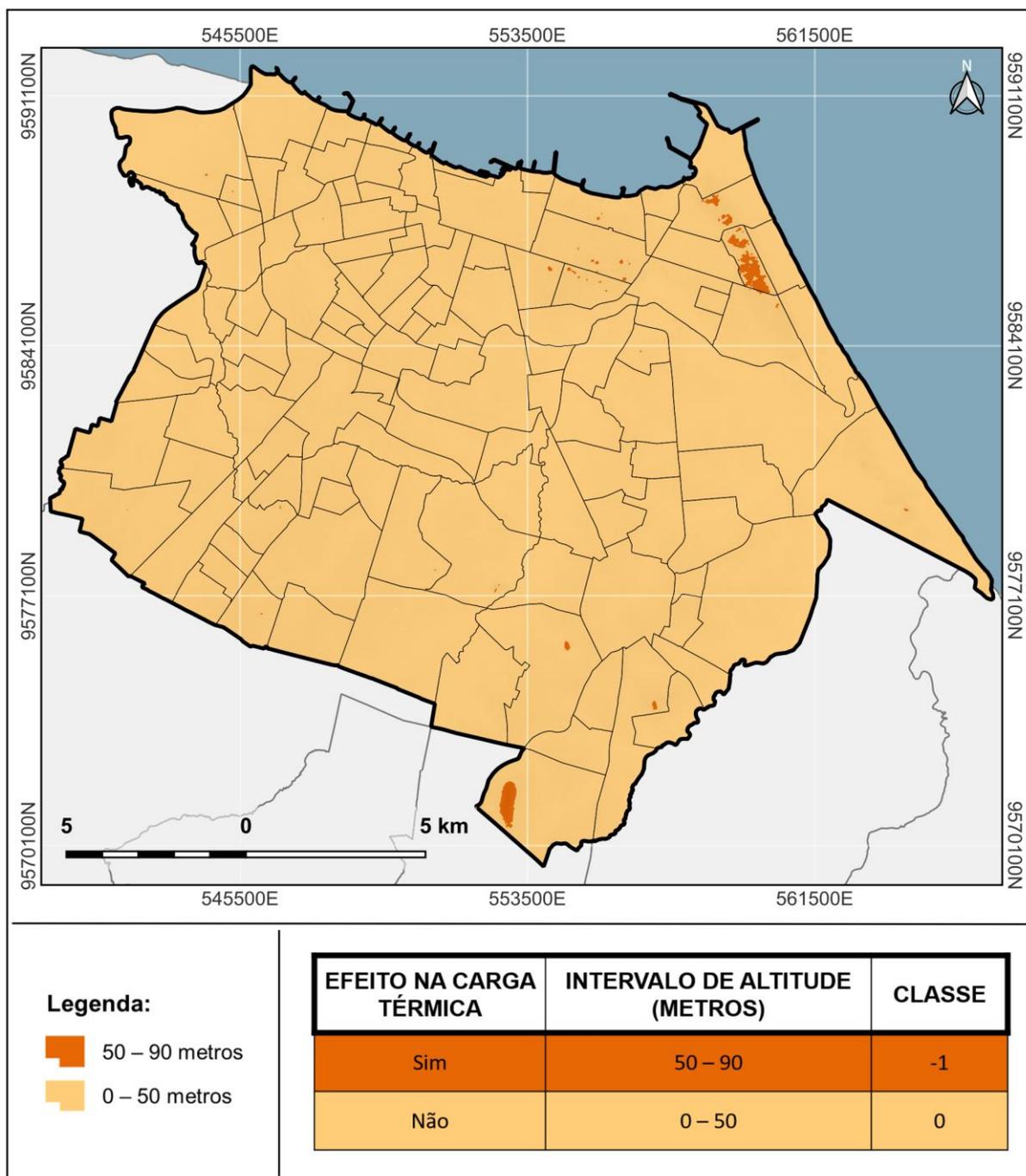
Tendo em vista a análise do mapa e gráfico da distribuição do volume edificado, entende-se que, a malha urbana da cidade de Fortaleza caracteriza-se por uma distribuição horizontal das edificações, sendo estas predominantemente de no máximo 3 pavimentos e com baixo espaçamento entre as áreas edificadas. Em alguns pontos da cidade percebe-se a presença de verticalização intermediária e consolidada, no entanto, com presença de edificações de baixo porte entre elas, o que contribui para a manutenção do baixo valor de volume edificado.

6.2 Camada 2: mapa de altimetria

Sabe-se que, os efeitos da rugosidade sobre os atributos climáticos ocorrem de forma que, quanto maior o valor da altitude menor será a temperatura do ar (apresentando redução de cerca de 1°C a cada 100 metros de elevação), sendo os efeitos da ilha de calor urbana sentidos com maior intensidade nas cotas

altimétricas mais baixas.

Figura 51 – Mapa de altimetria do município de Fortaleza/CE



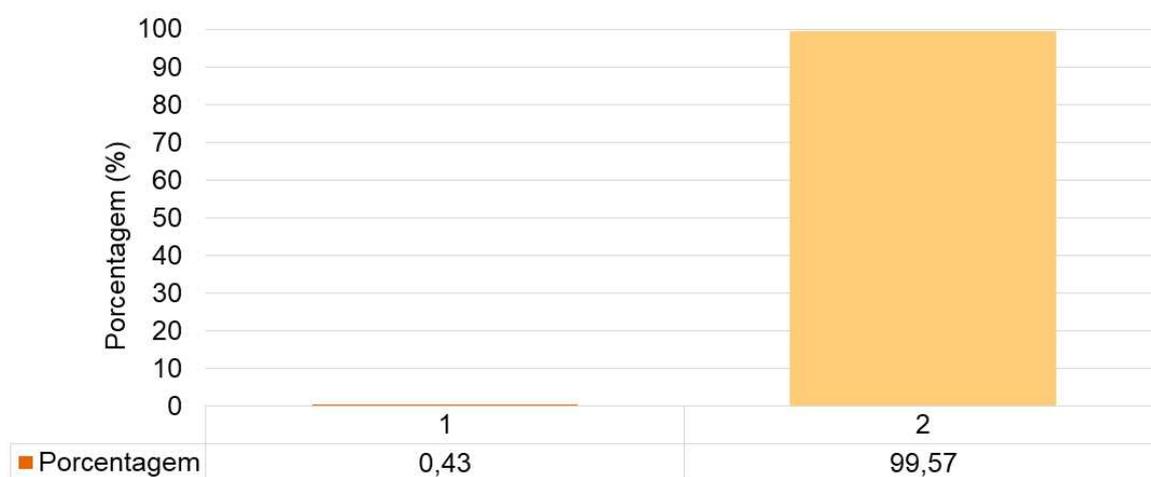
Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 51 é possível visualizar a altimetria da cidade de Fortaleza, a partir da classificação de imagem SRTM, tendo em vista as classes propostas para a metodologia do UCMaP. Por estar em uma situação altimétrica considerada baixa e plana, para a cidade de Fortaleza só se verificam duas classes nessa camada.

Sabendo dos efeitos do relevo para a dinâmica térmica local, se considerou a divisão em duas classes, uma possuindo efeito na carga térmica e outra neutra.

A classe neutra consiste na que recebe valoração 0, a qual compreende a 98,95% do território fortalezense. Já a classe -1 corresponde a 0,43% da área total da cidade, com pontos representativos a sul e leste do município, compreendendo uma área de um pouco mais de 2 km², como é possível verificar através da Figura 34 e 35.

Figura 52 – Distribuição das classes de altimetria de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores das classes foram atribuídos de acordo com a influência da altimetria na carga térmica, onde as áreas que se localizam nas cotas de 50 a 90 metros são afetadas de maneira positiva, ou seja, a carga térmica sofre diminuição, portanto, o valor atribuído foi negativo (-1). Já a classe 0 recebeu este valor devido à ausência de influência da altimetria na carga térmica, é nesta classe que a maior parte da cidade está inserida.

6.3 Camada 3: mapa de espaços verdes

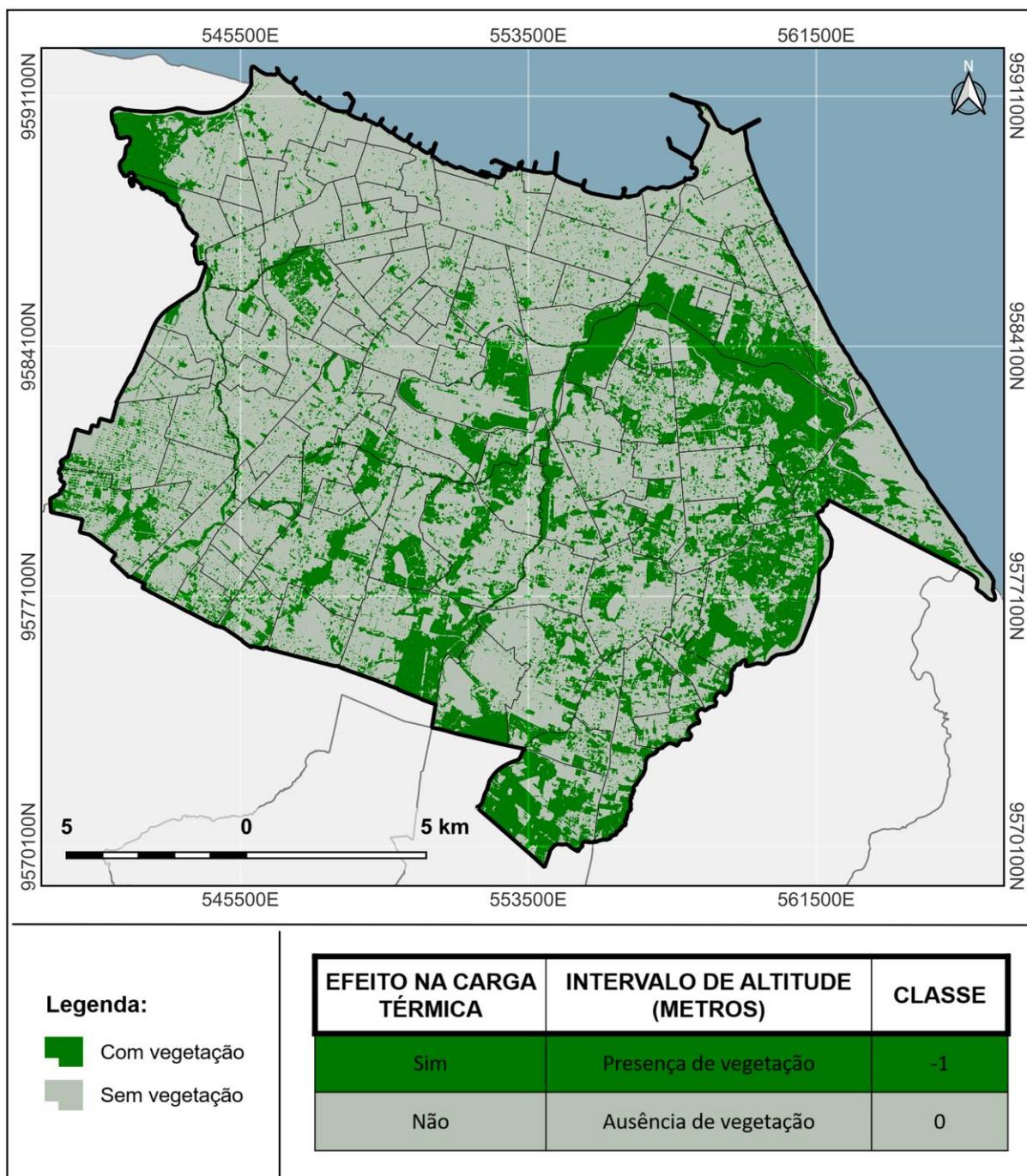
Sabe-se que, a vegetação urbana atua como um elemento moderador climático, contribuindo através dos processos de evapotranspiração e sombreamento, para amenizar a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar, importantes variáveis para a avaliação do conforto dos cidadãos.

Em ambientes tropicais, cujo a principal característica climática consiste nas altas temperaturas verificadas durante todo o ano, como é o caso de Fortaleza, as áreas com presença de vegetação consistem em elementos importantes para amenizar situações de estresse térmico. É possível destacar o processo de sombreamento, no que se refere à criação de microclimas, pois, a cidade de Fortaleza está localizada em uma posição latitudinal baixa, o que faz com que a radiação incida sobre a superfície em ângulo próximo aos 90° durante praticamente o ano todo, sendo importante a criação e manutenção de pontos de sombreamento (vegetação) para amenizar os efeitos da temperatura gerada. Além do sombreamento, é possível destacar a contribuição da absorção da radiação promovida pelos espaços verdes, onde há menor irradiação de calor, gerando situações de conforto térmico nesses microclimas.

Por estas razões, ao classificar a imagem Landsat 8 através do método SAVI, optou-se por atribuir valor negativo aos *pixels* correspondentes à presença de vegetação (-1), por entender que as áreas onde há presença de espaços verdes contribuem para uma potencial redução da temperatura, tendo um efeito negativo em relação à carga térmica. Nos *pixels* correspondentes à ausência de vegetação, optou-se pela atribuição de valor nulo (0), onde não há efeitos diretos na carga térmica nesta camada.

A partir da Figura 53, é possível observar a distribuição espacial das áreas vegetadas no município de Fortaleza, onde, nota-se uma diferença significativa entre os setores da cidade. É possível constatar que, é na porção leste da cidade que se encontram as maiores áreas com cobertura vegetal, sendo o Parque do Cocó a maior área verde da cidade. Fortaleza constitui-se como um município 100% urbano, então os espaços verdes estão relacionados exatamente às áreas verdes urbanas, áreas de proteção ambiental, vazios urbanos e áreas de expansão imobiliária.

Figura 53 – Mapa de espaços verdes do município de Fortaleza/CE

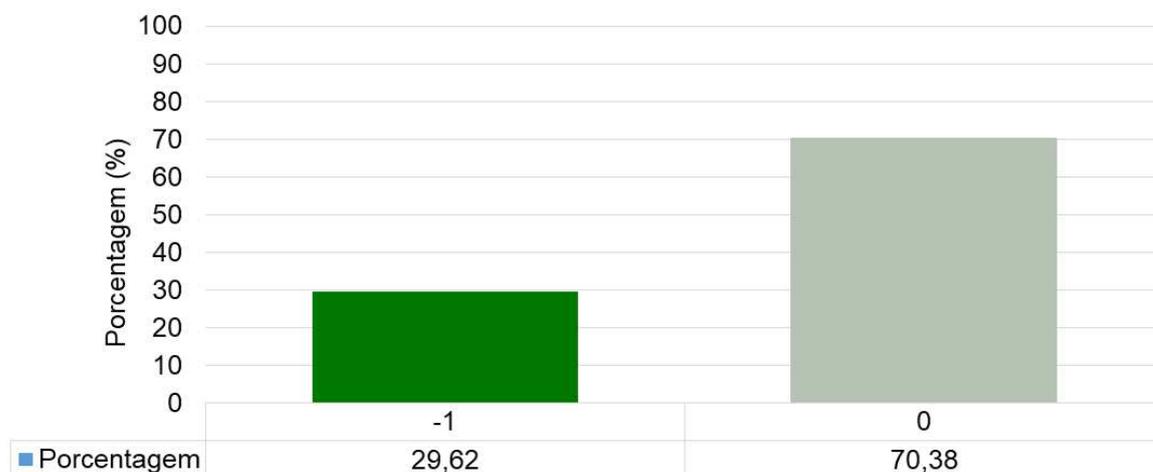


Fonte: elaborado pelo autor.

Ao observar e alisar o gráfico da Figura 54, percebe-se que, a maior parte do município está na classe correspondente à ausência de vegetação, cerca de 70,38% da área total da cidade. Sendo assim, os espaços verdes verificados através de sensoriamento remoto para Fortaleza, consistem em 29,62% da área do município, áreas essas que contribuem de forma negativa para a carga térmica, ou

seja, amenizando as temperaturas em escala microclimática

Figura 54 – Distribuição das classes de espaços verdes de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

A interpretação do mapa e gráfico de distribuição dos espaços verdes de Fortaleza, revela que o principal problema está na distribuição espacial dos espaços vegetados, já que, há uma nítida concentração da classe -1 no setor leste do município. Também é possível destacar que, esses espaços vegetados, em sua grande maioria, não consistem em áreas verdes instituídas, não constando proteção e portando são susceptíveis a retirada de vegetação, contribuindo para o aquecimento em escala microclimática.

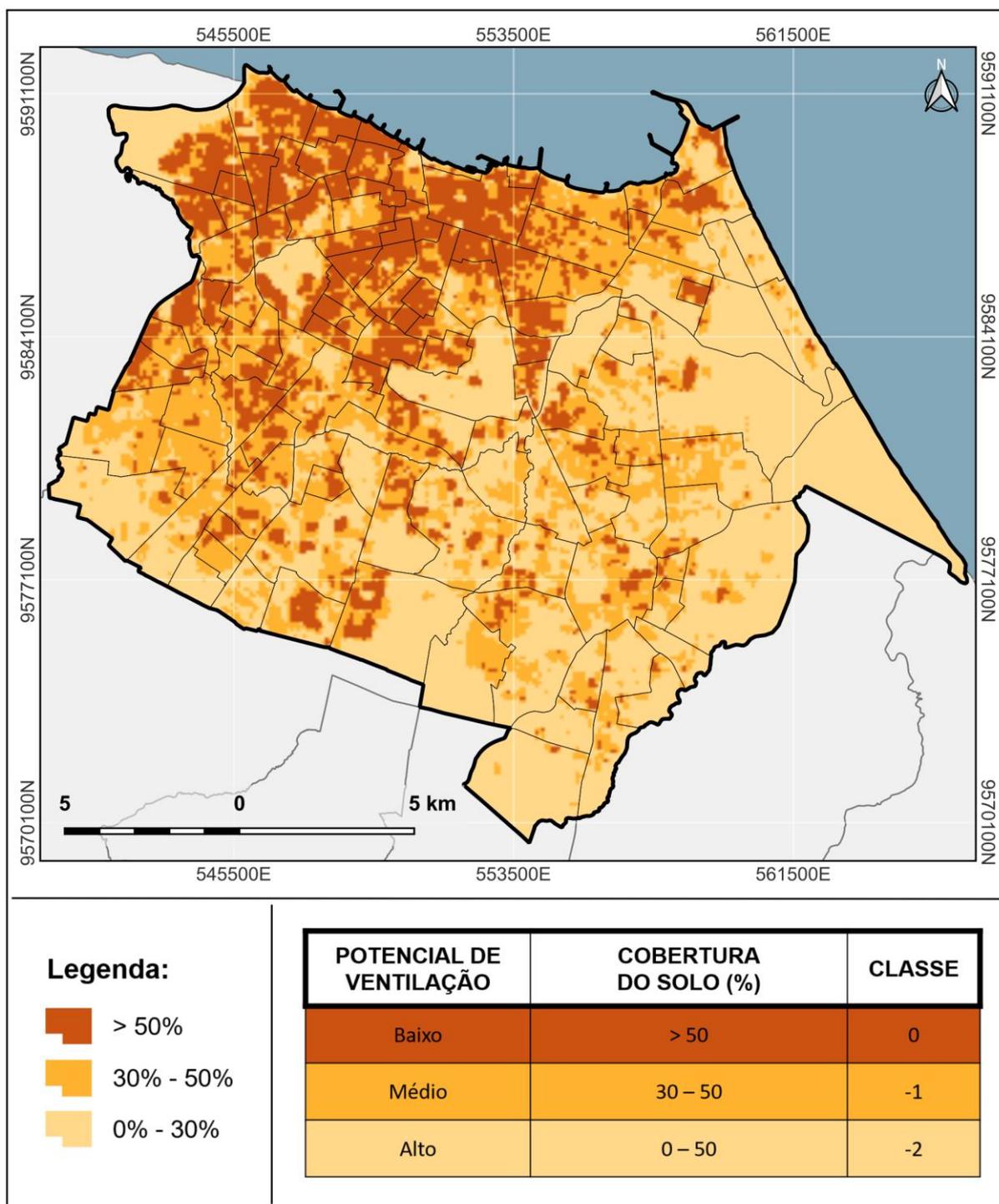
6.4 Camada 4: mapa cobertura do solo

A porcentagem de cobertura do solo é um importante elemento de avaliação, de como a configuração da cidade pode interferir de maneira direta nos microclimas. Além de modificar o balanço de radiação local, essas construções, em suas diferentes configurações, podem obstruir a passagem do vento local, diminuindo sua velocidade média e causando situações de calmarias. Dentro da perspectiva do clima urbano, a diminuição da velocidade média dos ventos e o aumento de situações de calma podem ter consequências negativas, no que diz respeito ao conforto térmico dos cidadãos e ao aumento do consumo energético.

Dentro da perspectiva do potencial dinâmico, a cobertura do solo foi utilizada para avaliar os critérios de ventilação, tendo em vista as informações de

permeabilidade advindas da rugosidade gerada pelas edificações adensadas. Na Figura 55 é possível visualizar a espacialização da porcentagem de cobertura do solo para a cidade de Fortaleza.

Figura 55 – Mapa de cobertura do solo do município de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

As porcentagens foram calculadas em quadrantes de 100x100 metros, onde, em ambiente SIG foi gerada uma malha digital, base para a operação. Os valores encontrados foram classificados em três categorias, de 0% a 30% (representado pela cor mais clara no mapa), enquanto as classes com maior porcentagem de ocupação variam em tons mais escuros, a classe intermediária (30% - 50%) em um tom alaranjado, e em marrom a classe correspondente às áreas com mais de 50% da malha ocupada por edificações.

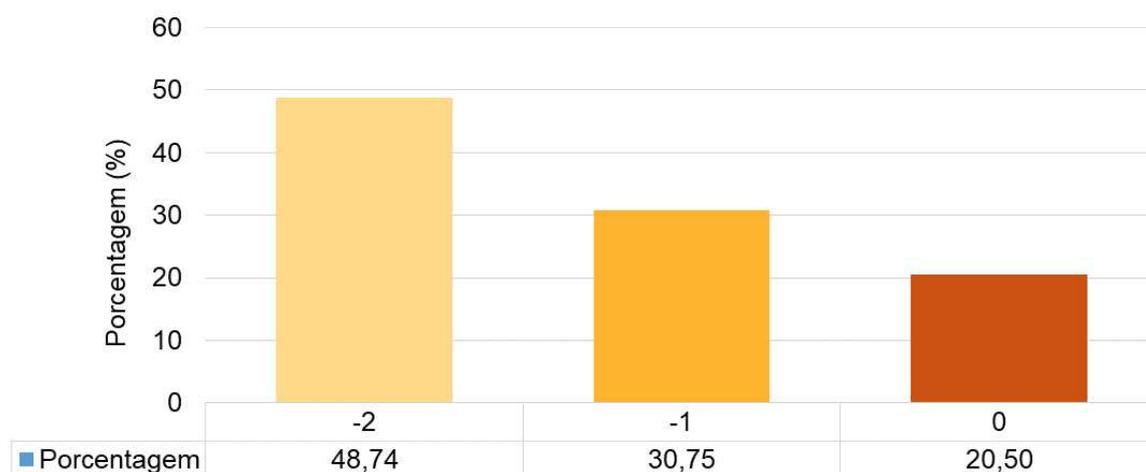
O mapa de cobertura do solo revela que, as maiores concentrações de quadrantes com taxa de ocupação acima de 50% estão localizadas nos setores noroeste e central da cidade. Nesses bairros são verificados lotes com construções conjugadas e altamente concentradas, onde os recuos frontais, laterais e traseiros são praticamente inexistentes, principal característica dos centros comerciais e de prestação de serviços. O setor noroeste é composto por bairros antigos, os quais também apresentam um padrão de edificações conjugadas e praticamente sem recuo, predominantemente residencial e com vias de acesso estreitas, o que dificulta a circulação do vento local.

Na região oeste do município também é possível verificar pontos de concentração da classe >50%, região essa composta por residências conjugadas, coincidindo com os aglomerados subnormais, de acordo com o IBGE, apresentando moradias inadequadas. Os setores sul e leste da cidade são os que apresentam as maiores concentrações de quadrantes que variam de 0% a 30% de cobertura do solo por edificações, contribuindo para um maior potencial dinâmico em relação à circulação do vento local, vale ressaltar que, a entrada de ventos de macro escala (alísios) ocorre exatamente por esse setor da cidade.

A partir do gráfico da Figura 56, é possível identificar que, a maior parte do território fortalezense está localizada na classe de valor -2, onde a porcentagem de cobertura do solo é entre 0% e 30%, ou seja, cerca de 48,74% do município está nessa faixa de ocupação da superfície por edificações, classe que mais contribui para a circulação do ar na cidade. A classe -1 representa cerca de 30,75% da área da cidade, sendo a classe intermediária, onde ainda existe um potencial dinâmico significativo, devido a porcentagem de ocupação entre 30% e 50%. A classe 0, que apresenta efeito nulo no potencial dinâmico, devido à alta porcentagem de ocupação da superfície (mais de 50%), representa 20,50% da área total da cidade, sendo a única classe que não contribui para o potencial dinâmico.

Portanto, conclui-se que a cidade de Fortaleza se caracteriza por ser altamente ocupada, refletindo sua natureza 100% urbana, principalmente tendo em vista o padrão de ocupação dos lotes e o adensamento das edificações conjugadas, características principais do centro comercial da cidade, bairros mais antigos e tradicionais, e também os bairros que compõe a periferia e os aglomerados subnormais da cidade.

Figura 39 – Distribuição das classes de cobertura do solo de Fortaleza/CE.



Fonte: elaborado pelo autor.

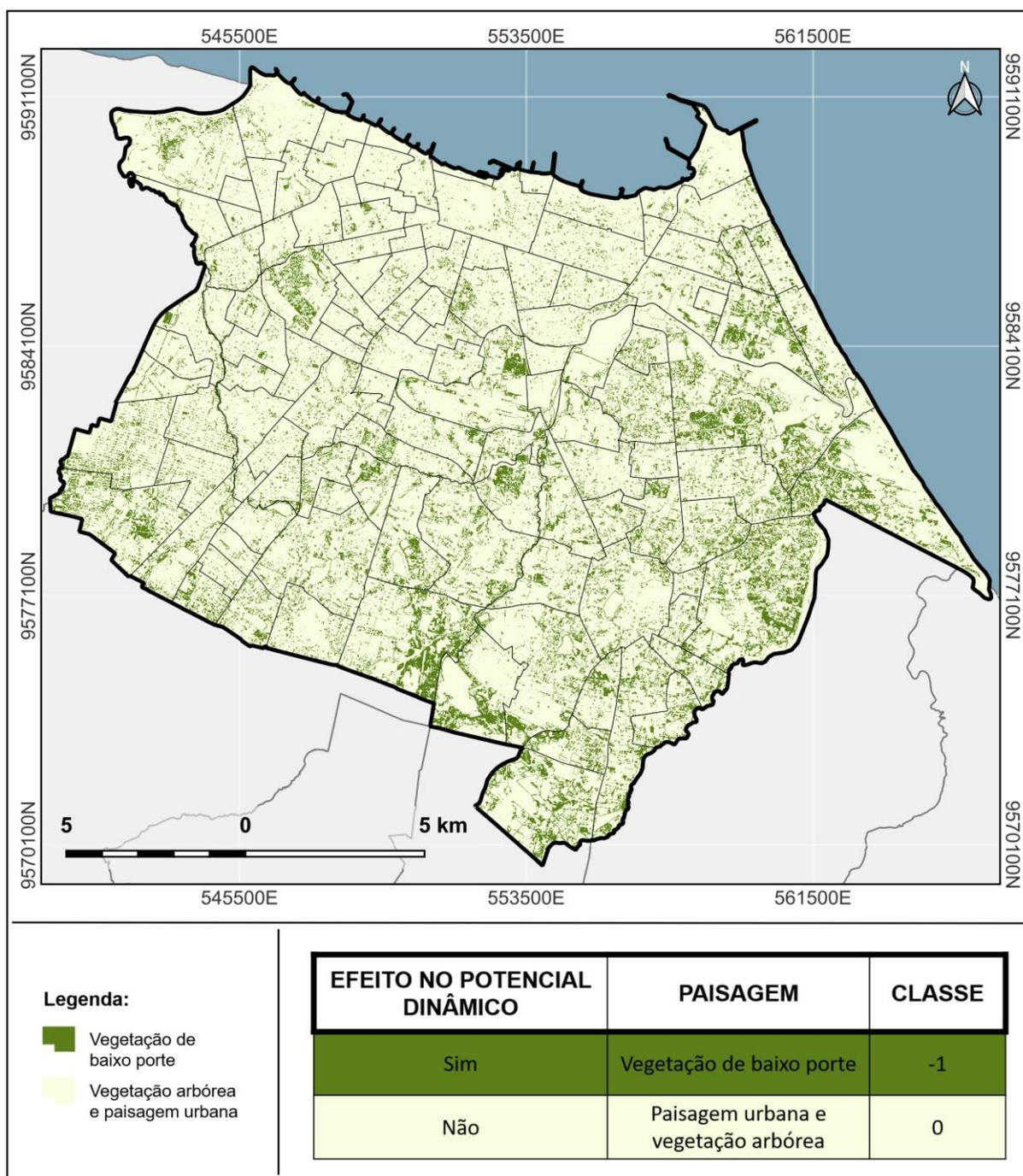
6.5 Camada 5: mapa de vegetação de baixo porte

Apesar de funcionar como um importante elemento de atenuação da temperatura urbana (como descrito na sessão 5.3), em relação à dinâmica da circulação de vento, existe uma diferença entre o padrão apresentado pelas estruturas verdes, onde, diferenciadas pelo porte e densidade pode interferir de modo positivo ou neutro. De acordo com Souza e Katzschner (2018) para o escoamento das correntes de ar, a vegetação rasteira pode ser benéfica devido a sua baixa rugosidade de superfície. Com o auxílio de imagem Landsat 8, foi possível realizar o método SAVI, com o intuito de classificar a vegetação entre o padrão de baixo porte (vegetação rasteira e gramíneas) e alto porte (vegetação alta arbórea). Para Olgay (1998) grandes formações vegetacionais apresentam rugosidade elevada, o que pode, assim como grandes edificações, dificultar a circulação do vento urbano.

A Figura 57 apresenta a distribuição da vegetação de baixo porte no

município de Fortaleza. O mapa foi classificado da seguinte forma: formações vegetacionais densas e arbóreas e áreas urbanizadas foram classificadas com valor 0, pois dificultam a circulação do vento, não tendo efeito no potencial dinâmico; as áreas que apresentaram *pixels* correspondentes a vegetação de baixo porte foram classificadas com valor negativo (-1), pois apresentam efeito no potencial dinâmico.

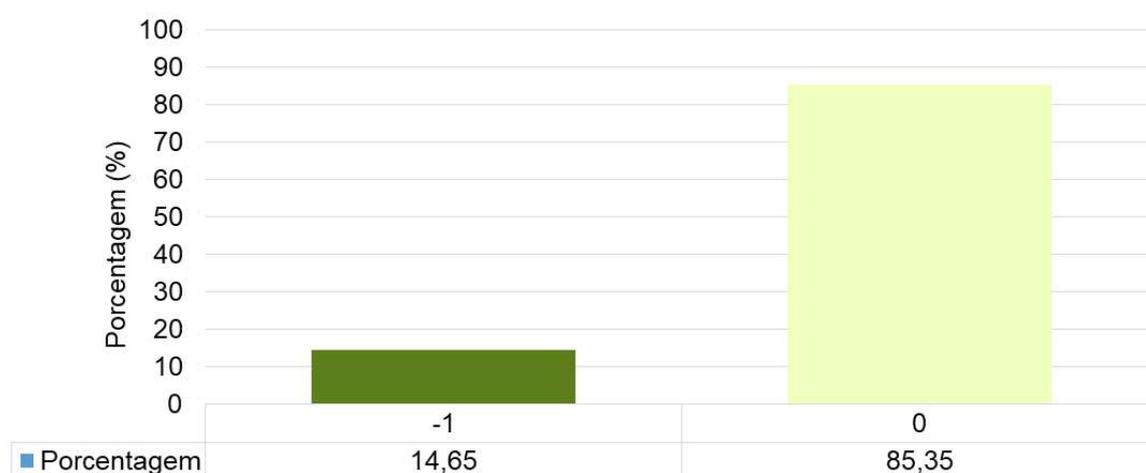
Figura 57 – Mapa de vegetação de baixo porte do município de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

Fortaleza apresenta áreas de vegetação de pequeno porte em toda a extensão de seu território, no entanto, é no setor leste/sul que se concentram *pixels* identificados com essa característica, o que pode contribuir para a canalização do vento (alísios de sudeste) e, portanto, para o potencial dinâmico. É importante destacar que, não é possível visualizar grandes áreas contínuas de vegetação de baixo porte, sendo essas as mais relevantes no sentido de beneficiar a circulação do vento local. Em relação às classes identificadas, nota-se que, a maioria da cidade encontra-se na classe 0, sendo esta representada pelas diferentes paisagens urbanas e a vegetação densa, que provocam uma rugosidade desfavorável à circulação do vento local, 85,35% da cidade está inserida nesta classe. A classe -1 representa 14,65% do total do território fortalezense.

Figura 58 – Distribuição das classes de paisagens naturais de Fortaleza/CE



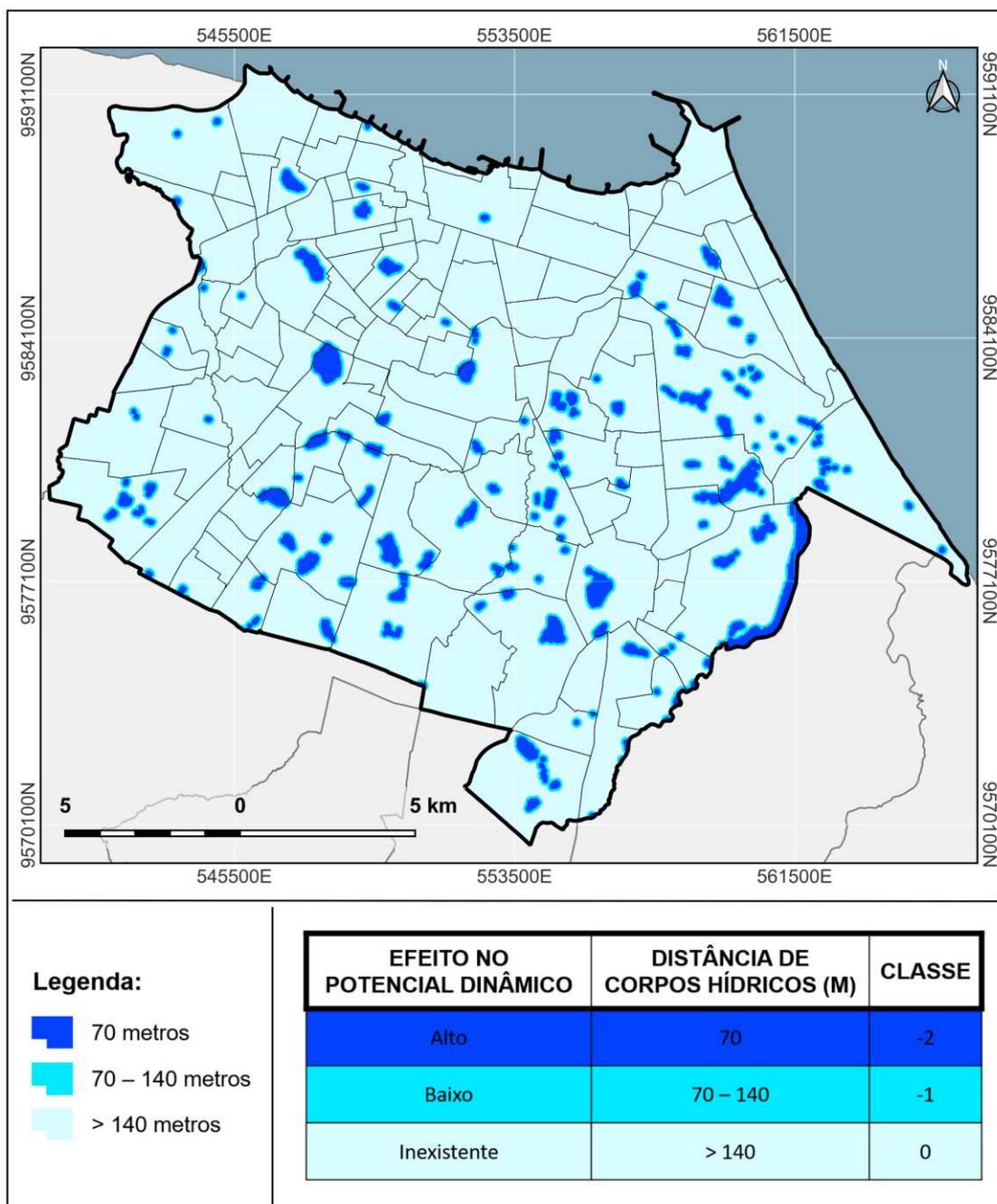
Fonte: elaborado pelo autor.

6.6 Camada 6: mapa de proximidades

Com o objetivo de identificar a existência de espaços próximos a áreas abertas e com características propícias à circulação dos ventos locais, foram utilizadas duas subcamadas de informação, camada 6a e camada 6b, onde foram mapeados respectivamente a proximidade à corpos hídricos e a declividade do terreno, sabendo que, essas variáveis influenciam positivamente na mitigação dos efeitos da carga térmica, propiciando um maior potencial dinâmico. A Figura 59 representa a camada 6a, é possível identificar e mapear os corpos hídricos do município de Fortaleza. Os arredores das lagoas e a orla marítima da cidade são

considerados benéficos em relação à amenização climática. De acordo com Ribeiro (2013) os primeiros 140 metros contíguos a todo o perímetro dos corpos hídricos são os mais importantes para o potencial dinâmico.

Figura 59 – Mapa de proximidade à corpos hídricos no município de Fortaleza/CE

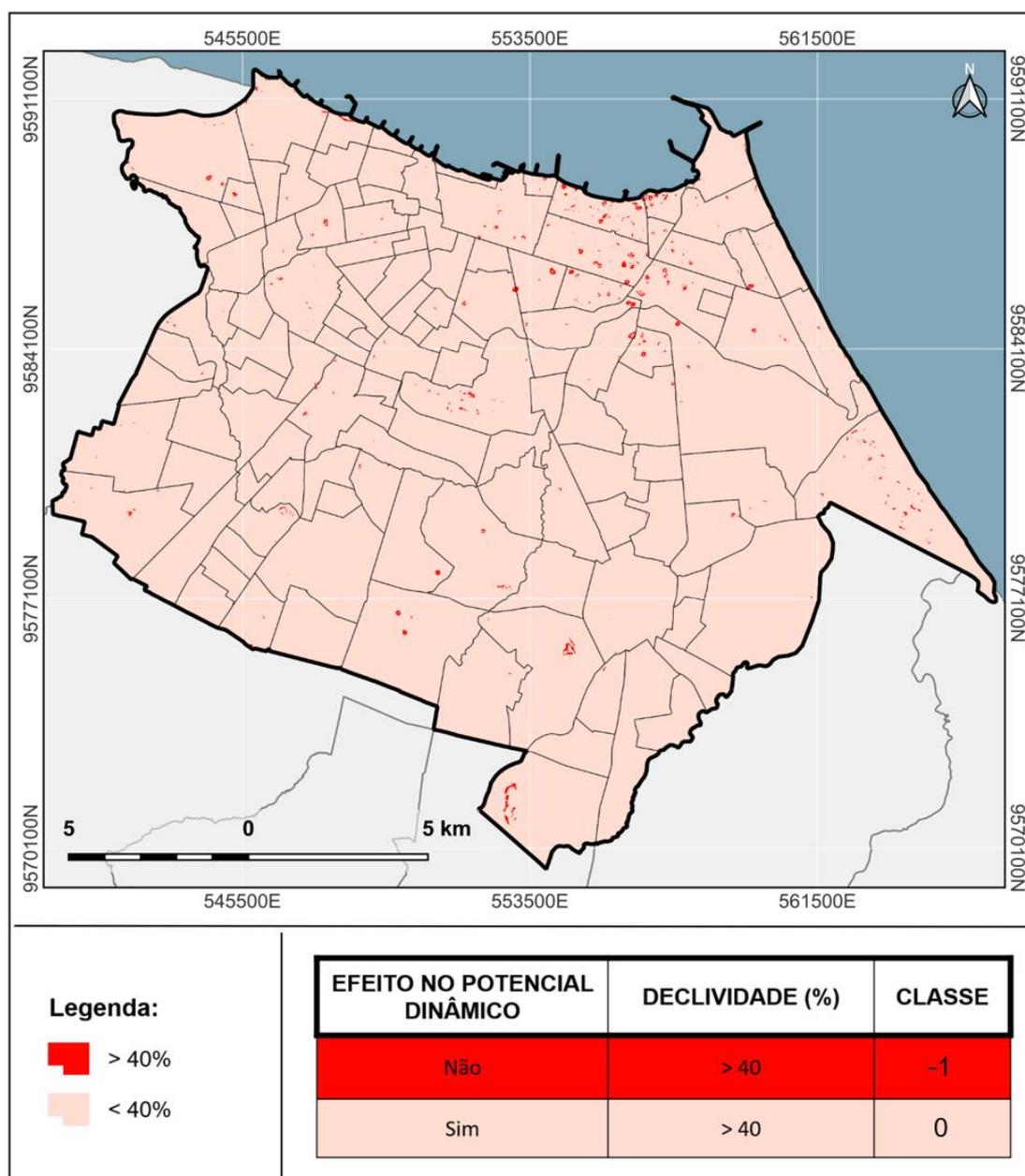


Fonte: elaborado pelo autor.

Sendo assim, seguindo a metodologia do autor, foram divididas as classes da seguinte maneira: os primeiros 70 metros, por receber a ventilação natural vinda

dos corpos d'água, representam as áreas mais benéficas, sofrendo “pouca” interferência de elementos urbanos, sendo assim recebem o valor -2; as áreas localizadas entre 70 e 140 metros recebem o valor de classe -1, por entender que o distanciamento provoca diminuição dos efeitos dos corpos hídricos; todas às demais áreas receberam valor nulo (0), por julgar que o maior distanciamento e a influência dos elementos urbanos anulam os efeitos oriundos dos espelhos d'água. A Figura 60 está relacionada à camada 6b, onde foi mapeada a declividade da cidade a partir de imagem SRTM e posteriormente reclassificada.

Figura 60 – Mapa de declividade do município de Fortaleza/CE



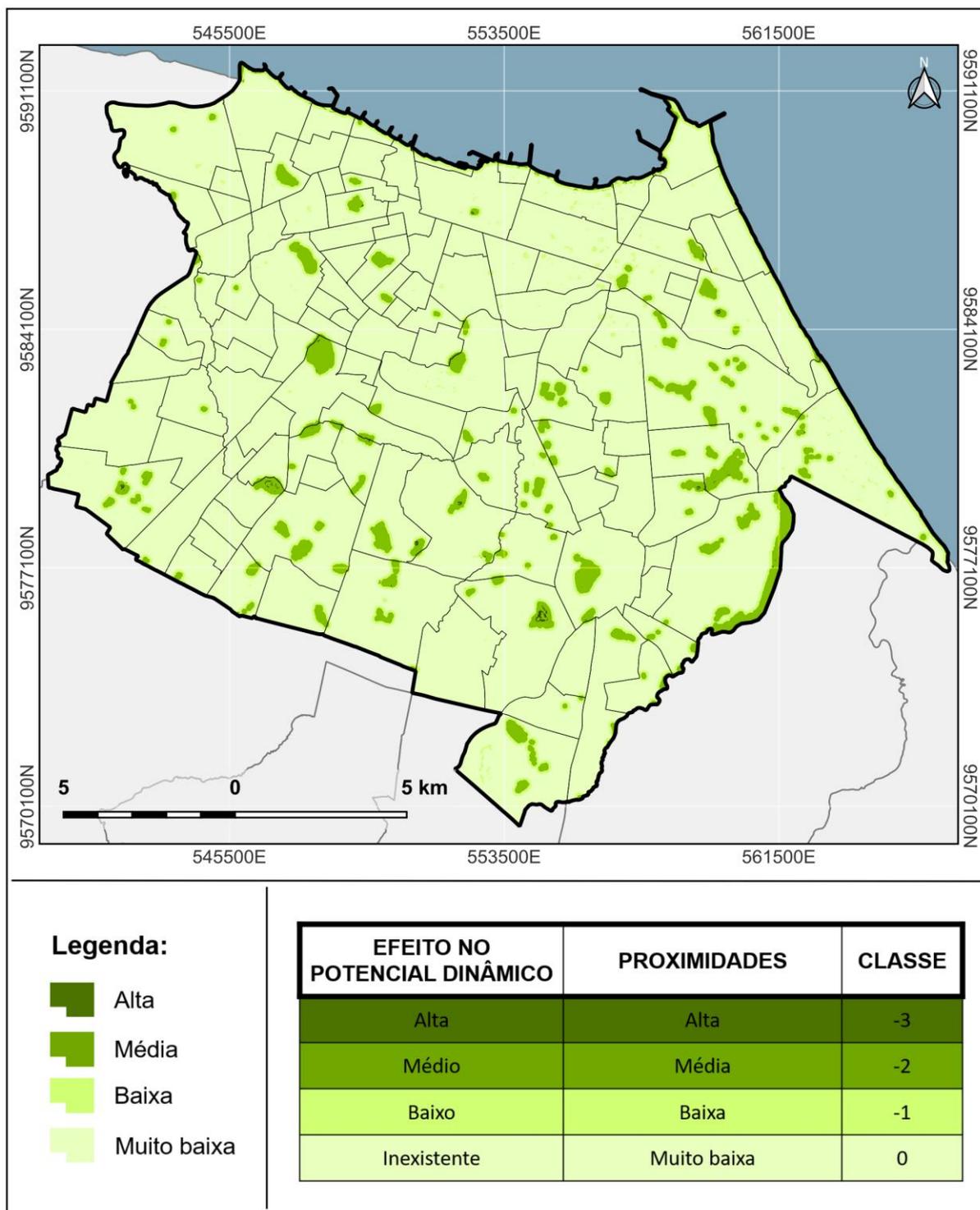
Fonte: elaborado pelo autor.

Seguindo a metodologia proposta por Ribeiro (2013), as áreas existentes na cidade com inclinações superiores a 40%, constituem-se como um elemento benéfico para o clima da cidade, pois nesses locais a topografia representa um elemento importante para a canalização dos ventos. Como ilustrado no mapa (Figura 43), a maior parte da cidade está inserida no contexto onde a declividade está abaixo de 40%, considerada nula para o potencial dinâmico, esta classe recebe valor 0. É possível identificar poucos pontos onde a inclinação das encostas está acima dos 40%, devido as características geomorfológicas da cidade, esses poucos pontos recebem valor de classe -1, por ter influência para o potencial dinâmico, beneficiando a circulação do vento.

Através da sobreposição das duas subcamadas (camada 6a e camada 6b), através da ferramenta *map algebra* do *spacial analyst* no ArcGIS 10.4, foi realizada uma operação de adição, no qual a interseção dos *pixels* gerou uma nova classificação numérica para o Mapa de proximidades (Figura 61). Foram geradas 4 classes, sendo elas: classe 0, neutra, não tendo interferência no potencial dinâmico; classe -1, com baixo efeito no potencial dinâmico; classe -2, consistindo em média interferência; e classe -3, possuindo forte efeito para a circulação do vento na cidade.

O mapa de proximidades (Figura 61) mostra que, a maior parte do município encontra-se na classe 0, onde não há a interferência direta de corpos hídricos e grandes inclinações para a circulação do vento urbano nessas áreas. A classe -1, é representada por pontos isolados de declividades superiores a 40% e sobretudo pelo entorno das massas hídricas da cidade, no que consiste na área de influência que varia entre 70 e 140 metros de distância do perímetro dos corpos hídricos. As áreas de entorno imediata dos corpos hídricos (até 70 metros de distância) integram a classe -2, com médio efeito no potencial dinâmico, tendo importante contribuição para a circulação local do vento. Através das áreas de sobreposição de encostas inclinadas acima de 40% e áreas de entorno imediato de corpos d'água, obteve-se a classe -3, sendo esta a classe mais relevante para o potencial dinâmico da cidade.

Figura 61 – Mapa de proximidades do município de Fortaleza/CE

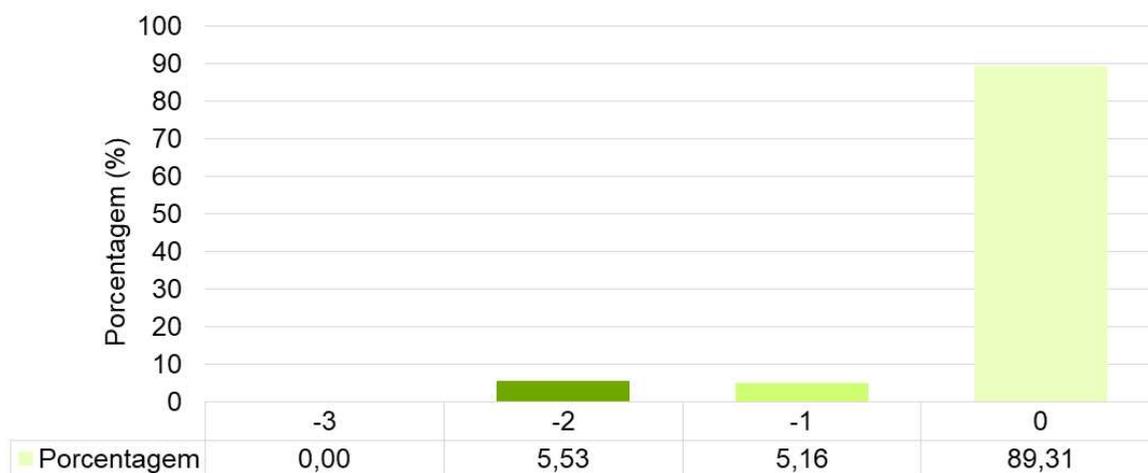


Fonte: elaborado pelo autor.

Em termos quantitativos, o gráfico da Figura 62 mostra que a maior parte da cidade está inserida no contexto da classe 0, a qual cobre uma área de 278,55 km², representando 88,64% da área total do município. A classe -1 cobre um total de 5,11% do território fortalezense, ocupando 16,11 km². Como a segunda classe mais

representativa, a classe -2 ocupa uma área de 19,62% do total do município e uma área de 19,62 km². A classe menos representativa, ocupando apenas 0,07 km² (0,02%) do total da cidade, é a classe -3.

Figura 62 – Distribuição das classes de proximidades de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor

6.7 Mapa de carga térmica

O Mapa de carga térmica considera dois efeitos para sua elaboração. O primeiro consiste na capacidade de armazenamento de calor gerado pela presença e concentração de grandes volumes edificados, que constituem efeitos climáticos negativos, uma vez que contribuem para o ganho de calor. O segundo efeito diz respeito a capacidade de mitigação térmica proporcionado pelas classes de vegetação e altimetria, contribuindo para a amenização da temperatura das cidades. Na Tabela 4, é possível visualizar a discriminação das classes e seus respectivos efeitos no mapa de carga térmica.

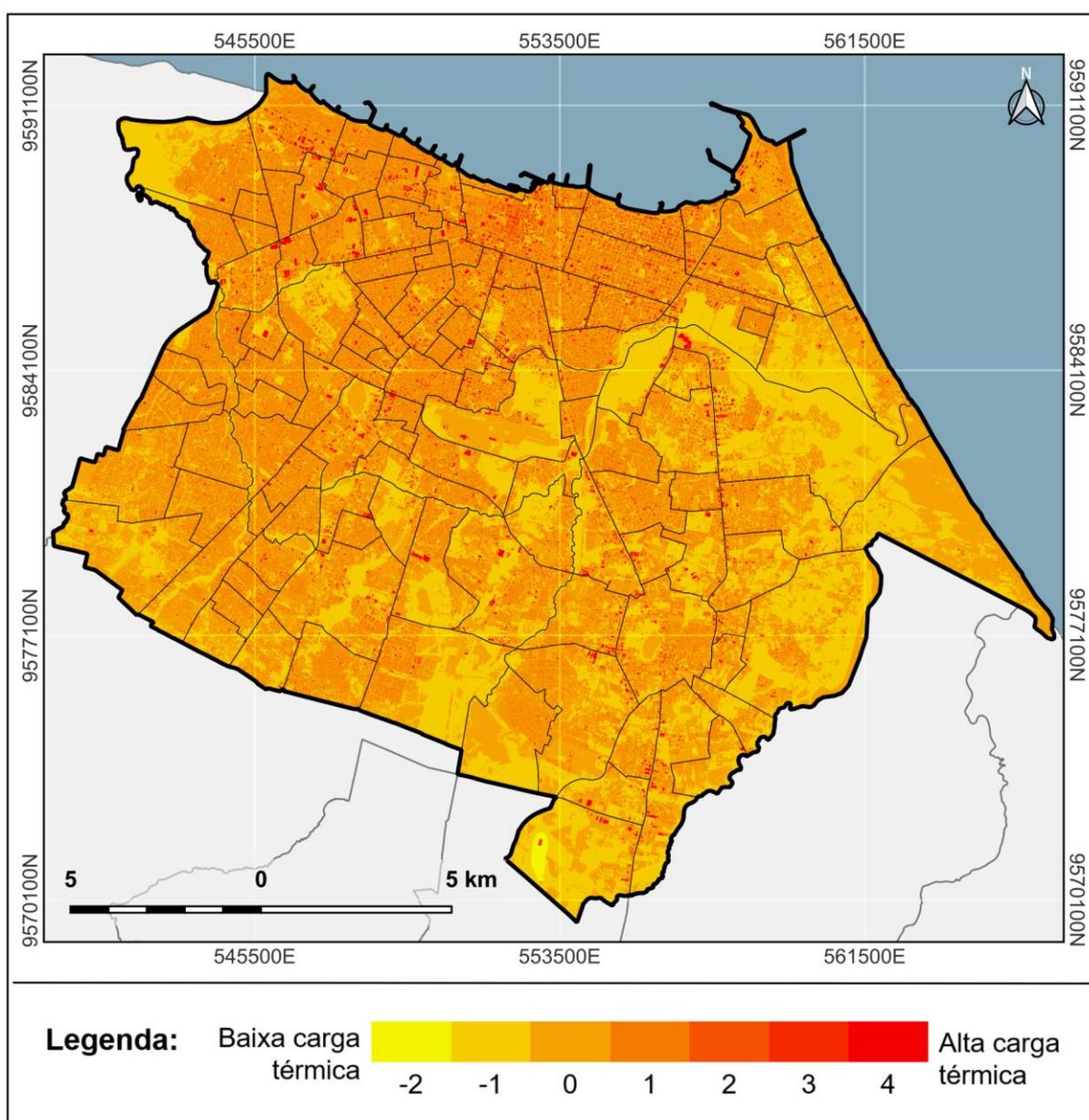
Tabela 4 – Descrição das camadas de carga térmica

Critério físico	Efeito climático	Bases científicas	Camadas
Carga térmica	Negativo	Armazenamento de calor	Camada 1: volume edificado
	Positivo	Gradiente térmico	Camada 2: altimetria
		Efeitos bioclimáticos	Camada 3: espaços verdes

Fonte: elaborado pelo autor.

Através da sobreposição dos mapas de volume edificado, de altimetria e de espaços verdes, resultou-se o mapa de carga térmica. Em Fortaleza, o mapa de carga térmica (Figura 63) é constituído por sete classes, que variam de valor -2 a 4. Entende-se que, essas classes refletem a capacidade dos elementos analisados de amenizar ou aumentar a temperatura do ar, de acordo com a capacidade de armazenamento de calor, tendo em vista as condições da superfície na área da cidade.

Figura 63 – Mapa de carga térmica do município de Fortaleza/CE



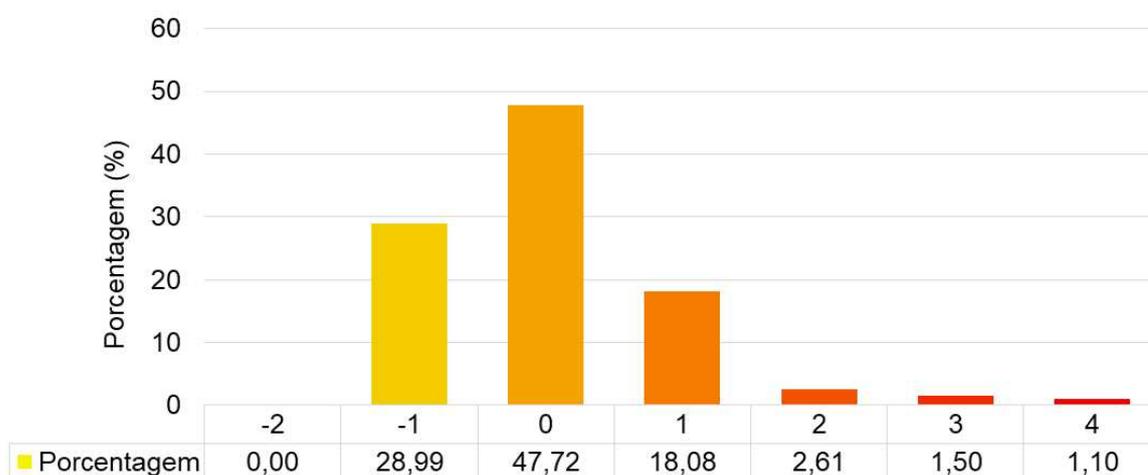
Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 64, é possível visualizar a distribuição das classes de carga térmica. As classes -2 e -1 representam as áreas da cidade com capacidade de redução da temperatura, pois essas áreas não têm influência na carga térmica. Essas classes são caracterizadas pela presença de vegetação, pequenos pontos de altitude superior a 50 metros, ou até mesmo áreas de interseção entre essas duas camadas, uma vez que estas atribuem valores negativos, devido aos efeitos bioclimáticos e ao gradiente térmico devido a mudanças de altitude. A classe -2 é pouco representativa, ocupando uma área de 1,18 km² (0,38% do total), enquanto a classe -1 tem uma representatividade importante, sendo 32,45% da área da cidade, ocupando 101,34 km².

A classe 0 consiste nas áreas onde o volume edificado é pequeno em comparação com os valores obtidos. Consistem principalmente em edificações pouco representativas e áreas impermeáveis, pavimentadas e com presença singela de vegetação urbana. Essa classe representa 43,37% da área do município, ocupando um total de 135,46 km².

As classes 1, 2, 3 e 4 favorecem a elevação da temperatura do ar, por estarem inseridas em contextos espaciais que contribuem para o ganho e armazenamento de calor, tendo em vista principalmente o volume edificado. A classe 1 apresenta uma cobertura de área significativa, percorrendo 72,42 km², o que constitui 23,19% do total do município, sendo a terceira classe com maior representatividade. Enquanto as classes 2, 3 e 4 ocupam 0,99 km², 0,55 km² e 0,39 km², respectivamente, equivalendo juntas a menos de 2% do total da cidade.

Figura 64 – Distribuição das classes de carga térmica de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

6.8 Mapa de potencial dinâmico

O mapeamento do potencial dinâmico considera as camadas referentes à cobertura do solo (permeabilidade), paisagens naturais (vegetação de baixo porte) e proximidades (corpos d'água e declividade). Para este mapa também se considerou dois efeitos climáticos sobre o critério do potencial dinâmico, negativo e positivo, onde o primeiro consiste no impedimento da circulação dos ventos urbanos a partir da grande porcentagem de impermeabilização e cobertura do solo urbano, criando uma rugosidade prejudicial ao potencial dinâmico.

Já os efeitos positivos estão relacionados aos efeitos bioclimáticos, produzidos pela vegetação de baixo porte, onde a rugosidade natural permite a circulação do ar. A camada de proximidades também constitui efeitos positivos para o potencial dinâmico, já que a proximidades de espelhos d'água e áreas com declividade acima de 40% propiciam ambientes favoráveis, recebendo influência direta na circulação do vento na cidade. Através da Tabela 5 é possível visualizar a síntese das camadas utilizadas na construção do mapa de potencial dinâmico.

Tabela 5 – Descrição das camadas de potencial dinâmico

Critério físico	Efeito climático	Bases científicas	Camadas
Potencial dinâmico	Negativo	Permeabilidade urbana	Camada 4: cobertura do solo
	Positivo	Efeitos bioclimáticos	Camada 5: paisagens naturais
		Efeitos bioclimáticos	Camada 6: proximidades

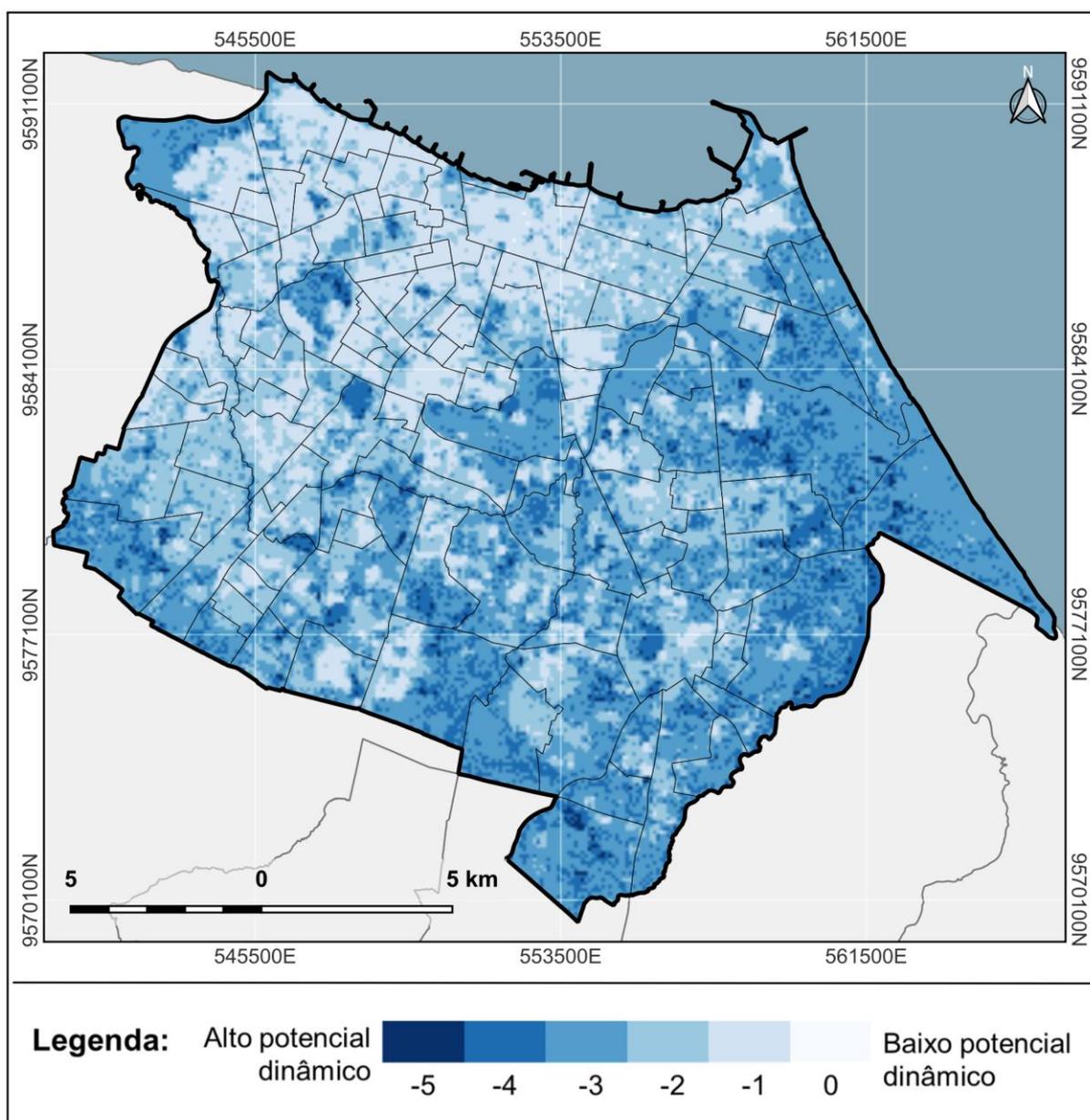
Fonte: elaborado pelo autor.

Pelo método de álgebra de mapas, houve a sobreposição das camadas 4, 5 e 6, descritas nas sessões anteriores, resultando no mapa de potencial dinâmico (Figura 65). Ao realizar a leitura e análise deste mapa, verifica-se que a cidade de Fortaleza se encontra em uma situação privilegiada em relação a circulação dos ventos, sendo geradas 7 classes, variando de -6 a 0, sendo -6 a classe com o maior potencial dinâmico e 0 a com menor potencial.

Visualmente, é possível notar que as classes mais favoráveis a circulação dos ventos acompanha justamente a vegetação (baixo e alto porte) e os corpos

hídricos da cidade. Apesar de o padrão de arborização denso ser classificado como neutro no mapa de paisagens naturais, ele apresenta um efeito cumulativo, por serem as áreas com menor índice de porcentagem de cobertura do solo por edificações, se sobressaindo no mapa de potencial dinâmico juntamente com as regiões mais próximas de corpos hídricos, principalmente nos primeiros 70 metros de aproximação.

Figura 65 – Mapa de potencial dinâmico do município de Fortaleza/CE



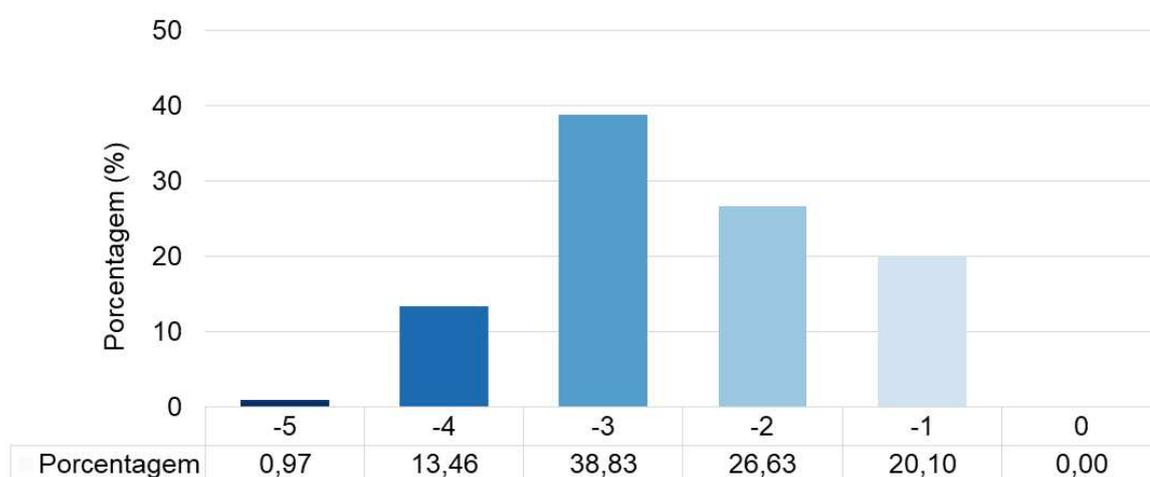
Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação à distribuição das classes de potencial dinâmico (Figura 66),

nota-se que a classe com maior representatividade é a -2, cobrindo uma área de 179,78 km² (57,55%). Essa classe está inserida em um contexto de baixa cobertura do solo (percentuais baixos no mapa 4) e presença de vegetação, contribuindo para que haja mais circulação do vento nessas áreas específicas.

Os tons mais claros estão relacionados as classes com menor potencial dinâmico (-1 e 0), sendo possível identificar que coincidem com as áreas edificadas mais adensadas, principalmente horizontalmente. Juntas, essas classes representam 19,54% da área total da cidade, cobrindo juntas 61,03 km².

Figura 66 – Distribuição das classes de potencial dinâmico de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor.

6.9 Mapa de análises climáticas de Fortaleza/CE

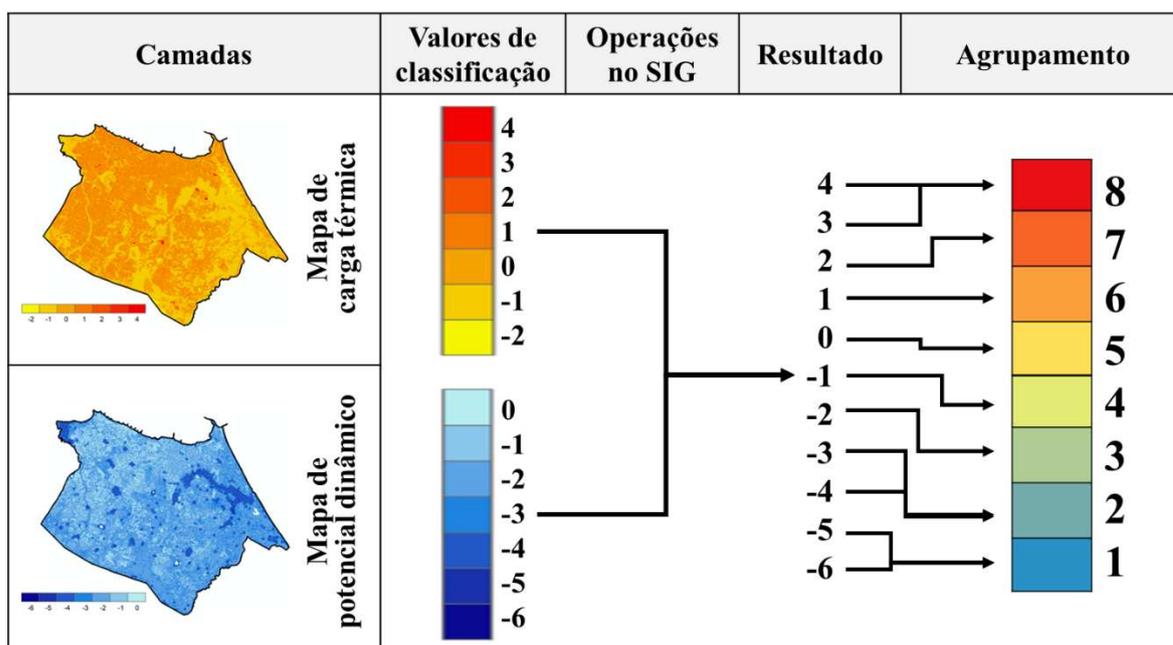
Para a construção do mapa de análises climáticas da cidade de Fortaleza, utilizou-se o processo de adição de valores na classificação da camada de carga térmica e potencial dinâmico. Para Fortaleza, essa adição, realizada em ambiente computacional SIG pelo *software* ArcGIS 10.4, gerou um total de 11 categorias de classificação, numa escala que varia de -6 a 4.

Seguindo a metodologia de Katzschner (1997) os valores extremos da escala de categorias da sobreposição das camadas devem ser simplificados e agrupados, com o objetivo de facilitar o entendimento dos aspectos climáticos para o planejamento da cidade, no entanto os valores médios devem ser mantidos. Sendo assim, foram agrupados os valores: -6 e -5; -4 e -3; +3 e +4. Deste agrupamento formaram-se as classes 1, 2 e 8, respectivamente. Enquanto os outros valores -2, -1,

0, 1 e 2, tornaram-se as classes 3, 4, 5, 6 e 7 respectivamente.

A Figura 67 representa a reclassificação, que foi realizada através de ambiente computacional no ArcGIS 10.4, utilizando a ferramenta do *spacial analyst*, *reclassify*, que permite transformar os valores das células a partir da atribuição de comando pelo pesquisador.

Figura 67 – Sobreposição e reclassificação das camadas e valores para o UCMMap

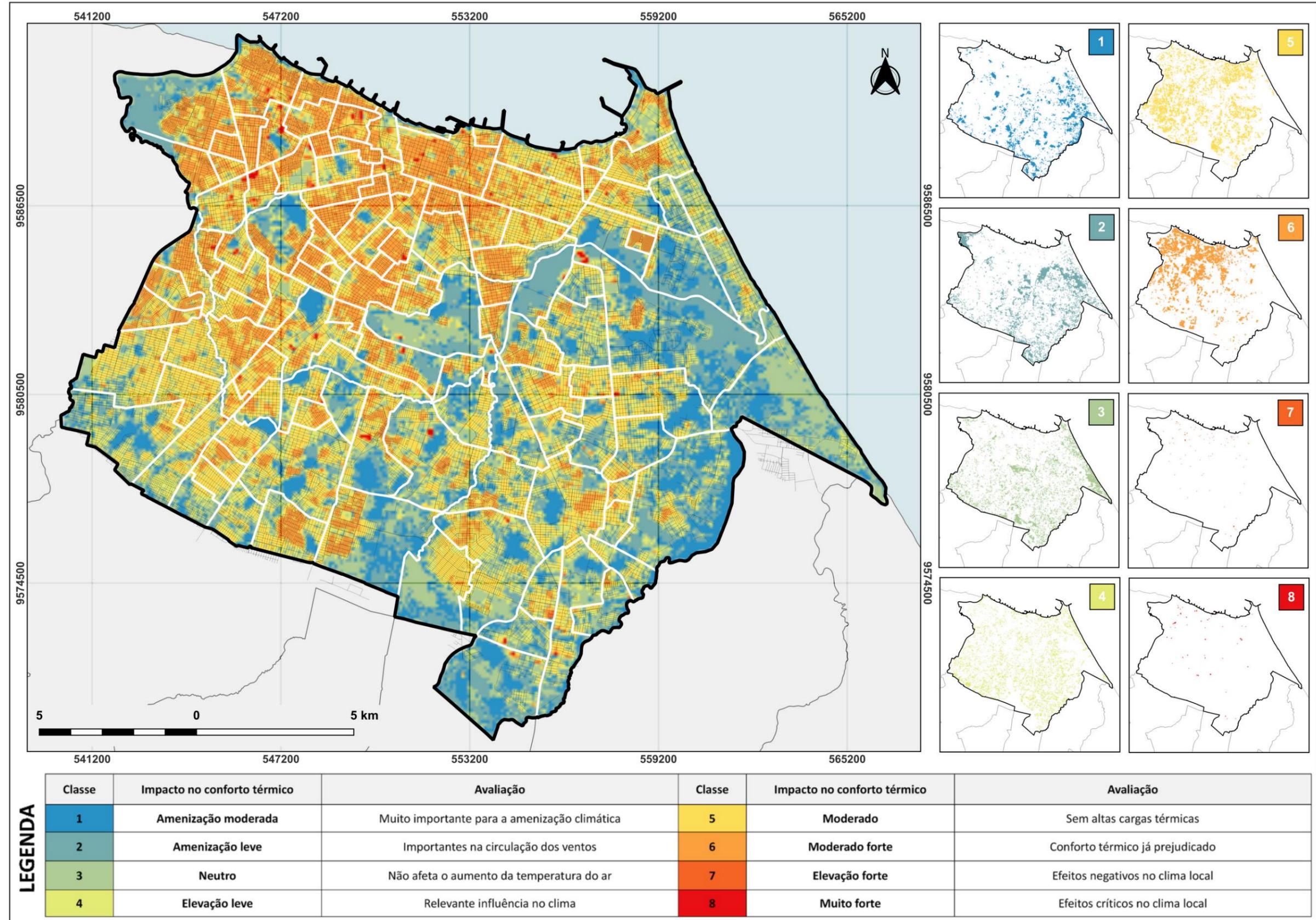


Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do processo de agrupamento e classificação formaram-se 8 classes climáticas, que representam e caracterizam o clima da cidade. Lembrando que, essa caracterização climática ocorre tendo em vista os critérios de carga térmica e potencial dinâmico, ou seja, a capacidade de ganho de calor e arrefecimento da atmosfera urbana.

A Figura 68 representa o mapa de análises climáticas urbanas da cidade de Fortaleza, confeccionado a partir da metodologia anteriormente descrita.

Figura 68 – Mapeamento Climático Urbano (UCMap) do município de Fortaleza/CE

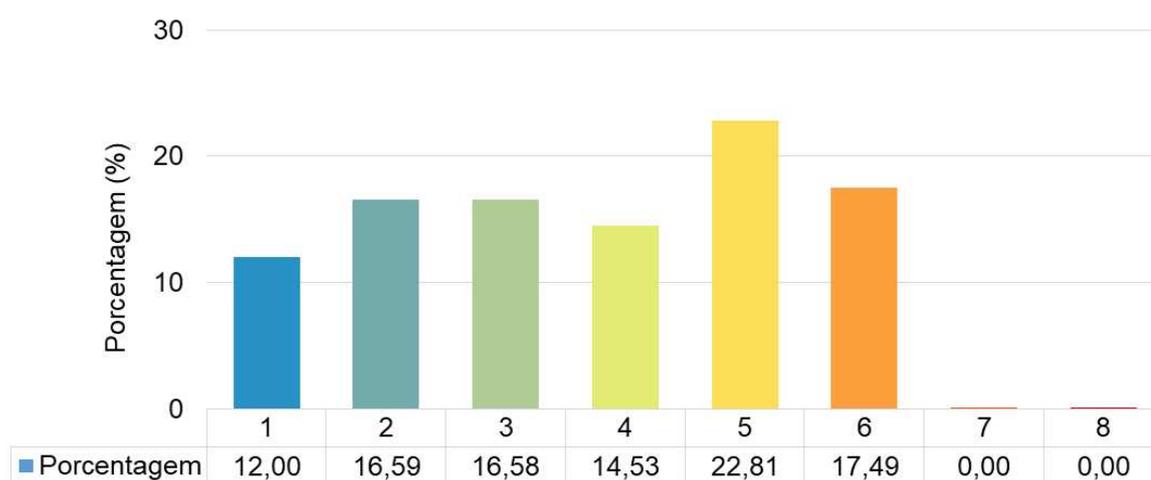


Fonte: elaborado pelo autor.

A análise das informações apresentadas revela a distribuição de áreas nas diferentes classes do UCMaP. Cada classe representa uma determinada área, medida em quilômetros quadrados, e a porcentagem correspondente em relação ao total.

Observa-se que a classe 5 possui a maior área, totalizando 70.437 km², o que representa 22,81% do total. Essa classe abrange uma porção significativa na cidade de Fortaleza. Em seguida, verifica-se que a classe 6 é a segunda com maior representatividade, com uma área de 53.983 km², correspondendo a 17,49% do total. Essas duas classes, portanto, são responsáveis pela maior parte da área de estudo.

Figura 69 – Distribuição das classes do UCMaP do município de Fortaleza/CE



Fonte: elaborado pelo autor

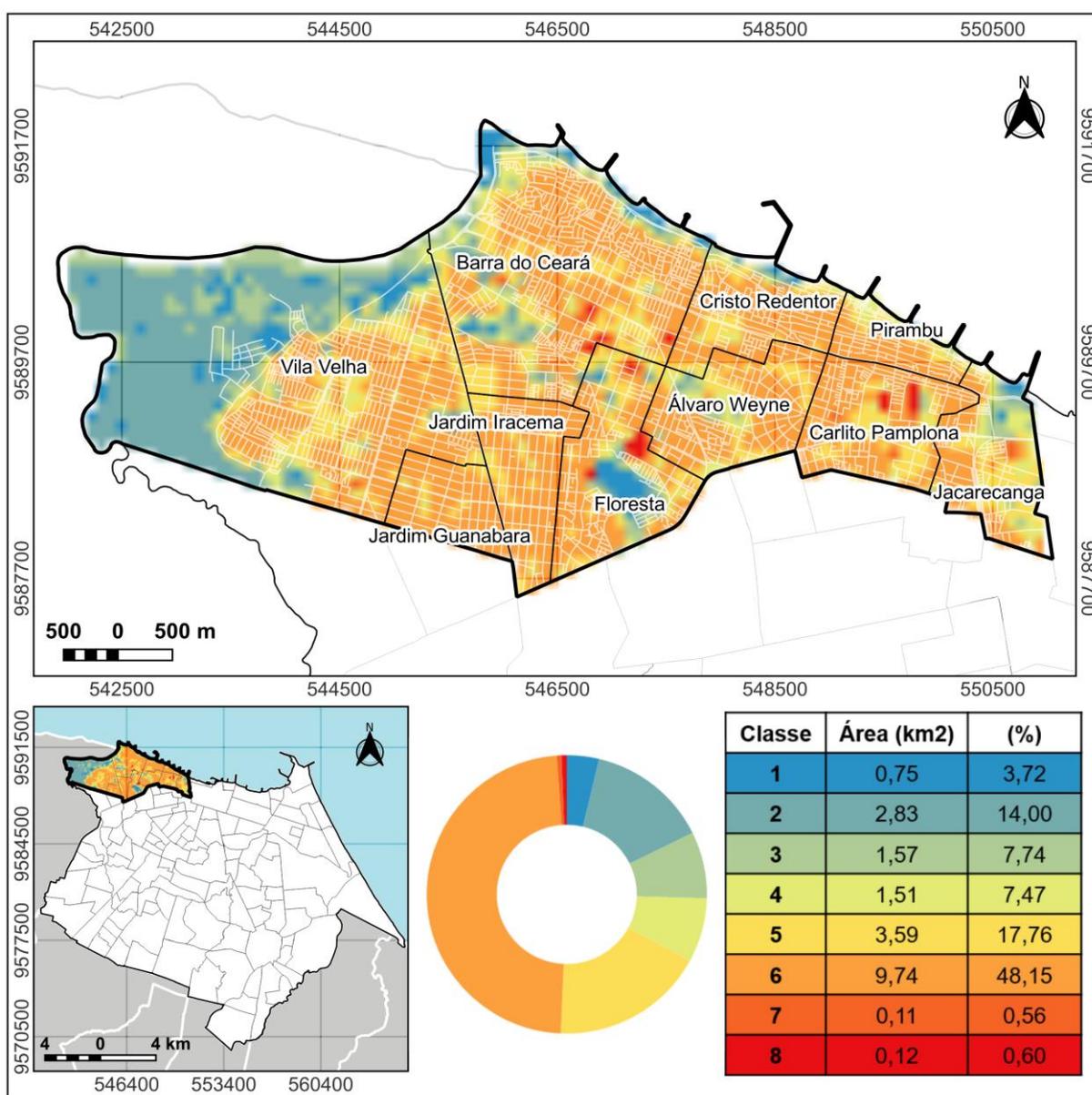
Por outro lado, as classes 7 e 8 possuem áreas muito pequenas, sendo 0,757 km² e 0,676 km², respectivamente. Essas classes representam uma proporção insignificante em relação ao total e podem ser consideradas como áreas de menor relevância nesse contexto. Essas áreas representam elevação forte e muito forte da temperatura, devido às características espacializadas.

As classes 1, 2, 3 e 4 também contribuem para a distribuição espacial da área em análise, com valores de 37.062 km², 51.214 km², 51.174 km² e 44.862 km², respectivamente. Cada uma dessas classes representa uma porcentagem significativa em relação ao total, contribuindo para a diversidade e heterogeneidade das áreas envolvidas, representando amenização, neutralidade e elevação leve de temperatura.

A seguir, o UCMMap foi analisado por regional, com o objetivo de compreender de maneira efetiva e detalhada a distribuição espacial das classes do UCMMap.

O mapa a seguir (Figura 70) representa os resultados da análise da Regional 1 de Fortaleza, onde cada classe possui uma área em quilômetros quadrados e a porcentagem correspondente em relação à área total da regional. Esses dados são importantes para compreender a distribuição espacial e a predominância de diferentes características climáticas nessa área específica.

Figura 70 – UCMMap da Regional 1 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

A classe 1, possui uma área de aproximadamente 0,75 km², representando 3,72% da área total da Regional 1. Essa classe é considerada muito importante para a amenização climática, o que significa que essas áreas contribuem significativamente para reduzir as altas temperaturas, proporcionando um ambiente mais agradável e confortável. A classe 2, abrange uma área de aproximadamente 2,83 km², correspondendo a 14% da área total. Essa classe desempenha um papel importante na circulação dos ventos, contribuindo para a diminuição das temperaturas e favorecendo a ventilação natural, o que pode aliviar o desconforto térmico.

Na classe 3, encontra-se uma área de cerca de 1,57 km², representando 7,74% da área total. Essa classe indica que essas áreas não têm influência significativa no aumento da temperatura do ar. Já a classe 4, abrange aproximadamente 1,51 km², correspondendo a 7,47% da área total. Essa classe possui uma relevante influência no clima local, o que significa que essas áreas podem apresentar temperaturas ligeiramente mais elevadas do que outras regiões, podendo exigir medidas adicionais para garantir o conforto térmico.

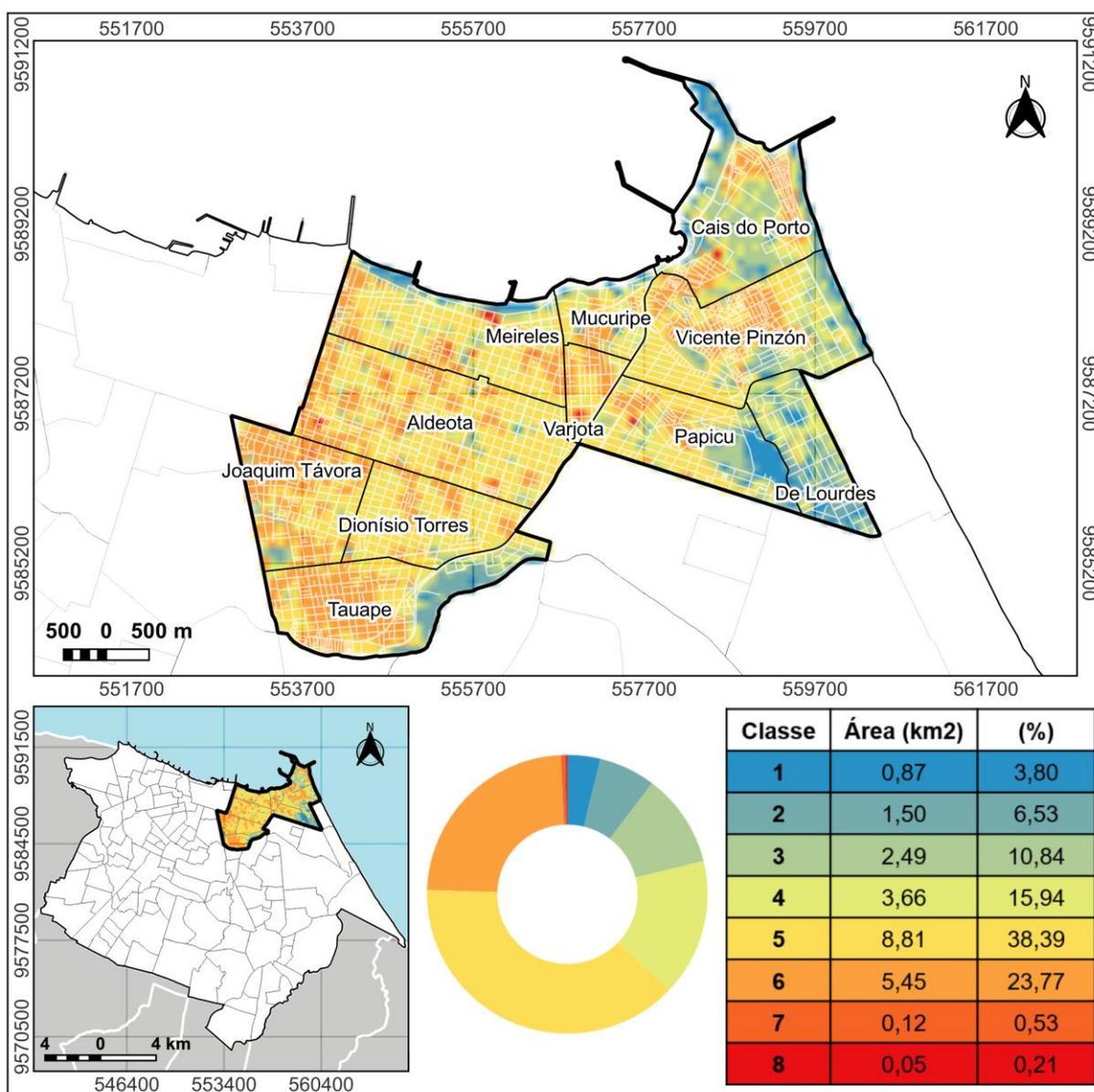
Ao analisar os dados, pode-se observar que a Classe 6 possui a maior área, com aproximadamente 9,74 km², representando 48,15% do total. Essa classe indica um impacto moderado forte no conforto térmico, sugerindo que o clima na região pode já estar prejudicado em termos de conforto térmico. Outra classe que se destaca é a Classe 5, que abrange uma área de cerca de 3,59 km², correspondendo a 17,76% da região. Essa classe indica que o local possui cargas térmicas moderadas.

Por outro lado, as Classes 7 e 8 representam áreas com menor expressividade em termos de área, correspondendo a apenas 0,11% e 0,12% da região, respectivamente. Essas classes indicam um impacto forte ou muito forte no clima local, apresentando efeitos negativos e críticos, possivelmente relacionados à presença de elementos que contribuem para o aumento da temperatura do ar ou a formação de ilhas de calor.

Em relação à Regional 2, ao observar o mapa da Figura 71, é possível notar que a Classe 5 possui a maior área, representando aproximadamente 38,39% da região. Isso indica que essa área está associada a um impacto moderado no conforto térmico. As Classes 4 e 6 também ocupam uma parte significativa da área, com 15,94% e 23,77%, respectivamente. Isso indica que essas áreas possuem um

impacto relevante no conforto térmico, com uma influência considerável no clima local. A presença dessas classes sugere que podem existir condições térmicas distintas nessa região, que podem ser mais quentes ou mais frescas dependendo da localização específica, o que se dá pela grande extensão territorial dessa regional, a qual abarca 11 bairros, entre eles os mais verticalizados da cidade, como Meireles, Aldeota, Joaquim Távora, Dionísio Torres, Papicu, entre outros.

Figura 71 – UCMMap da Regional 2 de Fortaleza

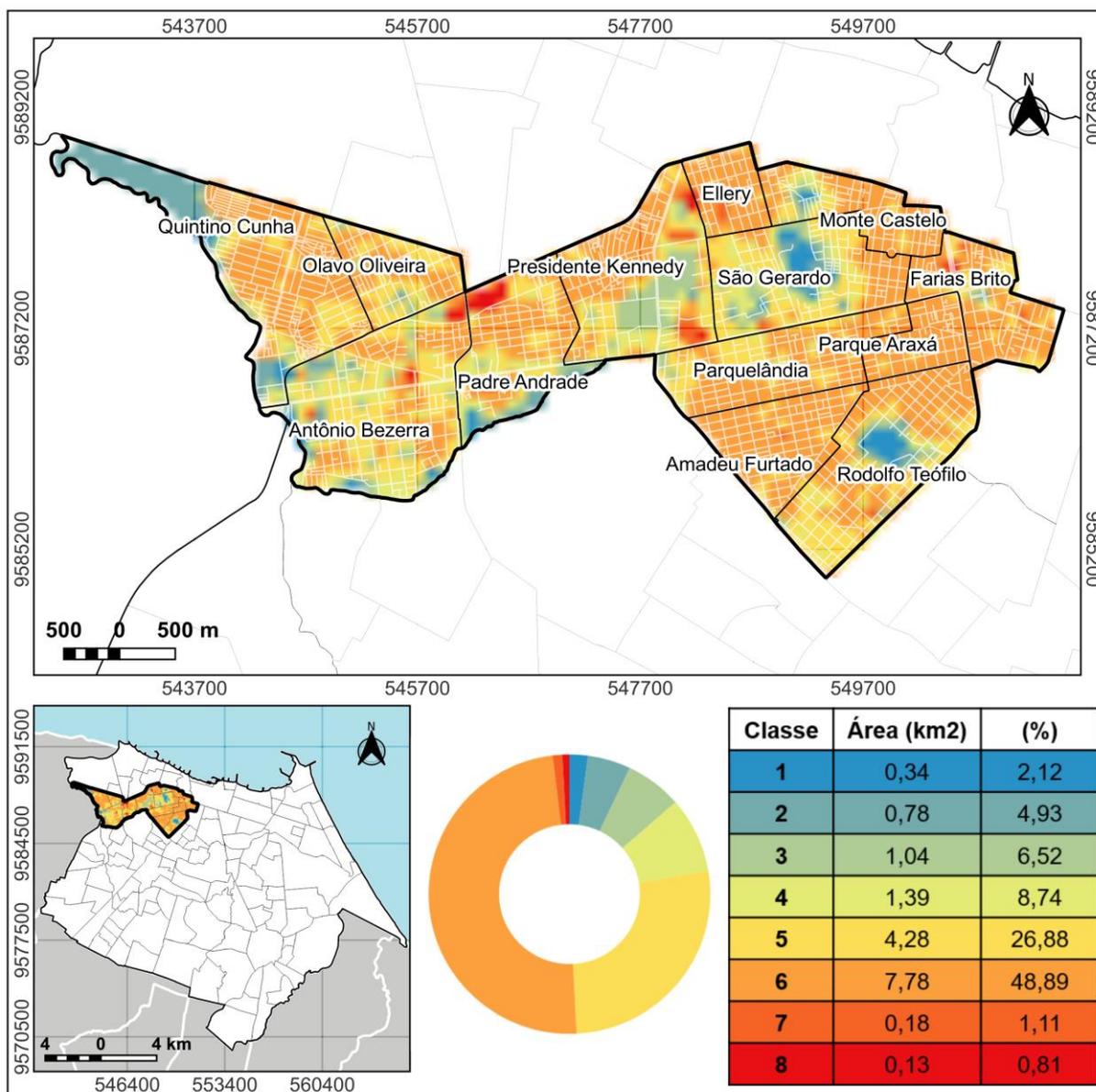


Fonte: elaborado pelo autor.

Ao analisar os dados da Regional 3, é possível observar a distribuição das classes que representam o impacto no conforto térmico nessa região de acordo

com a metodologia do UCMaP. O mapa da figura 72 apresenta informações sobre a área ocupada por cada classe, em quilômetros quadrados, bem como a porcentagem correspondente em relação à área total da regional, além da espacialização das classes identificadas nessa área específica.

Figura 72 – UCMaP da Regional 3 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

Dentre as classes analisadas, destaca-se a Classe 6, que abrange uma área significativa de aproximadamente 7,78 km², representando cerca de 48,89% da região. Essa classe indica um impacto moderado-forte no conforto térmico, o que sugere que essa área pode apresentar condições climáticas desfavoráveis em

termos de temperatura e conforto para os habitantes.

Por outro lado, as Classes 1, 2, 3 e 4 ocupam áreas menores, com porcentagens variando de 2,12% a 8,74%. Essas classes indicam um impacto mais leve ou neutro no conforto térmico, o que pode indicar áreas com condições mais favoráveis em relação à temperatura e ao conforto climático.

É importante observar também as classes 7 e 8, que possuem áreas menores em comparação às outras classes. A Classe 7 ocupa uma área de aproximadamente 0,18 km², representando cerca de 1,11% da região, enquanto a Classe 8 abrange uma área de aproximadamente 0,13 km², correspondendo a cerca de 0,81% da região. Essas classes, em particular, indicam um impacto mais forte no conforto térmico e apresentam uma presença menos significativa na área total da Regional 3. Essas áreas podem demandar atenção especial no planejamento urbano e na implementação de medidas de mitigação e adaptação ao clima, visando minimizar os impactos negativos no conforto térmico.

Vale ressaltar que, essas três regionais apresentam alta densidade demográfica, onde o número elevado de habitantes faz com que a demanda por espaços de ocupação humana seja cada vez mais crescente. Portanto, caracterizam-se como regiões urbanas adensadas tanto, na perspectiva horizontal (regionais 1 e 3), como vertical (regional 2).

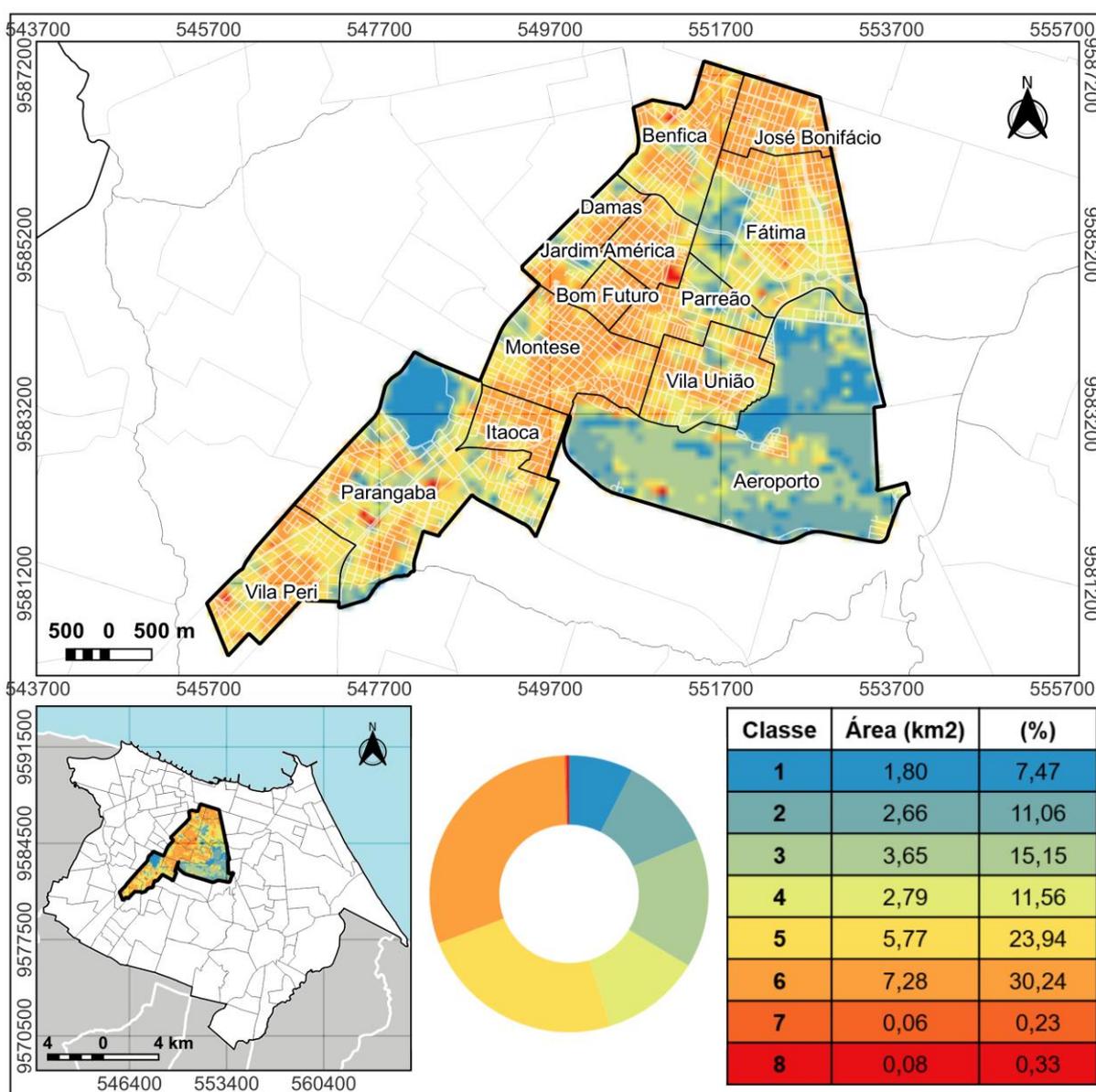
Em relação à Regional 4 (Figura 73), ao observar os dados, destaca-se que a Classe 1 abrange uma área de aproximadamente 1,80 km², correspondendo a cerca de 7,47% da região. Essa classe representa uma amenização moderada, sendo considerada muito importante para a amenização climática. Em contraste, a Classe 8 ocupa uma área de apenas 0,08 km², representando cerca de 0,33% da região, mas possui um impacto muito forte, com efeitos críticos no clima local.

As Classes 2, 3, 4 e 5 também possuem sua relevância na configuração do ambiente urbano dessa regional. A Classe 2, com uma área de aproximadamente 2,66 km², representa 11,06% da região e é importante na circulação dos ventos. Já as Classes 3 e 4, ocupando áreas de 3,65 km² e 2,79 km², respectivamente, correspondem a 15,15% e 11,56% da região, e têm uma influência neutra e uma elevação leve no clima. A Classe 5, com uma área de 5,77 km², representa 23,94% da região e é caracterizada por cargas térmicas moderadas.

É interessante notar que a Classe 6, com uma área de 7,28 km² e representando cerca de 30,24% da região, possui um impacto moderado-forte, com

o conforto térmico já prejudicado. Por fim, as Classes 7 e 8, apesar de ocuparem áreas relativamente pequenas, ainda merecem atenção devido aos seus efeitos negativos no clima local. A distribuição espacial dessas classes indica que diferentes áreas da Regional 4 de Fortaleza experimentam condições climáticas distintas e apresentam variações no conforto térmico, de acordo com a metodologia empregada.

Figura 73 – UCMMap da Regional 4 de Fortaleza



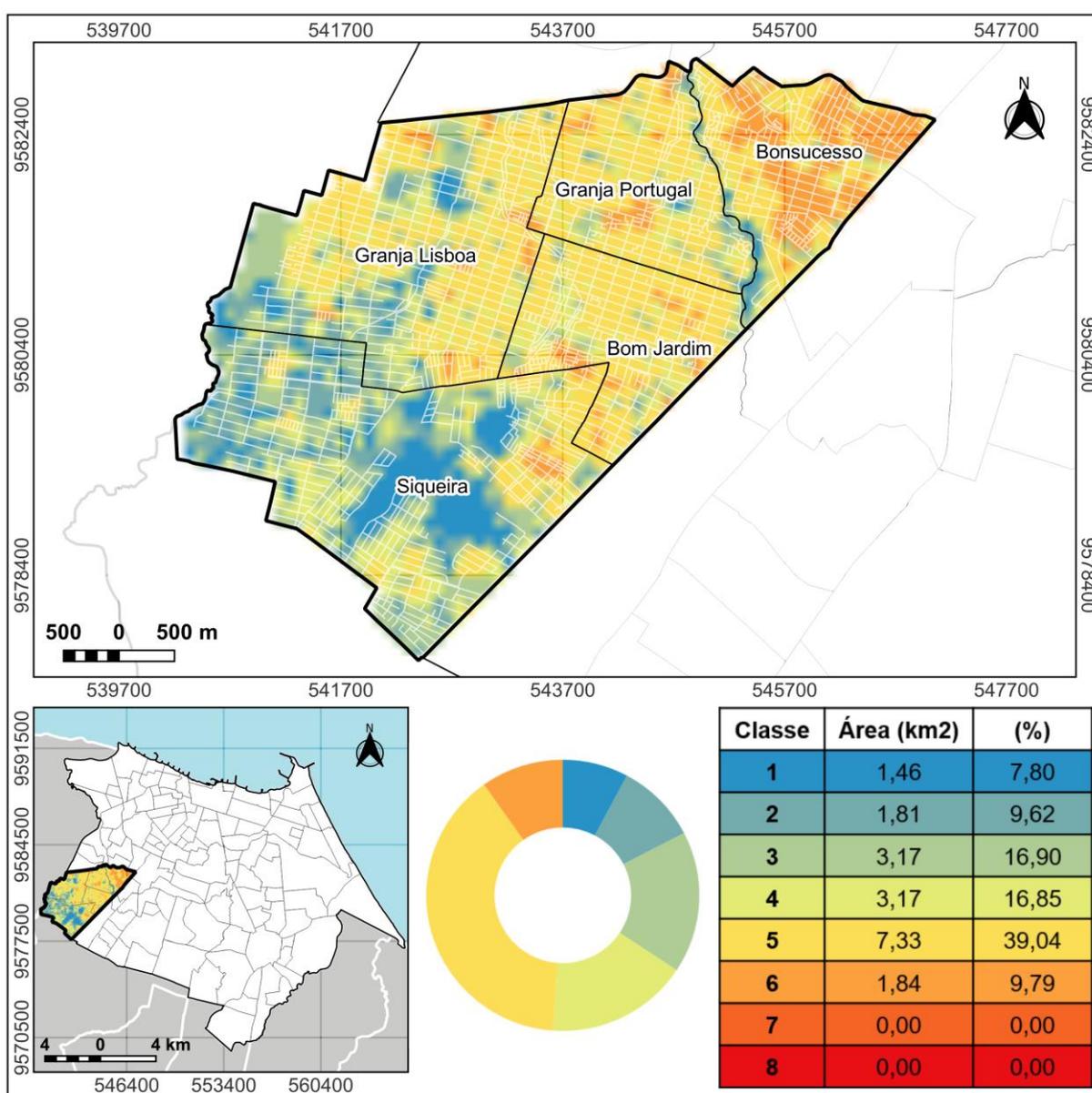
Fonte: elaborado pelo autor.

Ao analisar os dados referentes à Regional 5 de Fortaleza (Figura 74), é possível observar a distribuição das classes e suas respectivas áreas, fornecendo

informações sobre o impacto no conforto térmico e influência climática na região, de acordo com o UCMMap.

A Classe 5 destaca-se como a mais predominante, ocupando uma área de aproximadamente 7,33 km², o que corresponde a cerca de 39,04% da região. Essa classe é caracterizada por apresentar um impacto moderado. Essas áreas estão diretamente relacionadas aos aglomerados urbanos verificados nesse território, coincidindo com as áreas de maior densidade demográfica da regional.

Figura 74 – UCMMap da Regional 5 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

As Classes 3 e 4, com áreas de 3,17 km² cada uma, representam cerca

de 16,90% e 16,85% da região, respectivamente. As Classes 1 e 2 ocupam áreas de 1,46 km² e 1,81 km², correspondendo a cerca de 7,80% e 9,62% da região, respectivamente. Essas classes representam uma amenização moderada e leve, sendo consideradas importantes para a circulação dos ventos e para a amenização climática. Essas áreas são verificadas em vazios urbanos dentro da regional, onde a densidade demográfica é baixíssima.

As Classes 1 e 2 ocupam áreas de 1,46 km² e 1,81 km², correspondendo a cerca de 7,80% e 9,62% da região, respectivamente. Essas classes representam uma amenização moderada e leve, sendo consideradas importantes para a circulação dos ventos e para a amenização climática.

Como é possível notar, essa regional apresenta um padrão mais heterogêneo em relação a distribuição espacial das classes do UCMMap. Isso é reflexo da variedade de ocupação deste território, onde são verificados vazios urbanos (áreas de expansão), drenagem e matas ciliares, ocupações urbanas consolidadas e aglomerados subnormais.

A Regional 6 possui a segunda maior extensão territorial entre as regionais administrativas da cidade de Fortaleza, a mesma é composta por 15 bairros e está situada na porção sudeste da cidade. A análise dos dados referentes à Regional 6 (Figura 75), revela informações relevantes sobre as classes e suas respectivas áreas, permitindo uma compreensão mais detalhada do impacto no conforto térmico e influência climática nessa região específica.

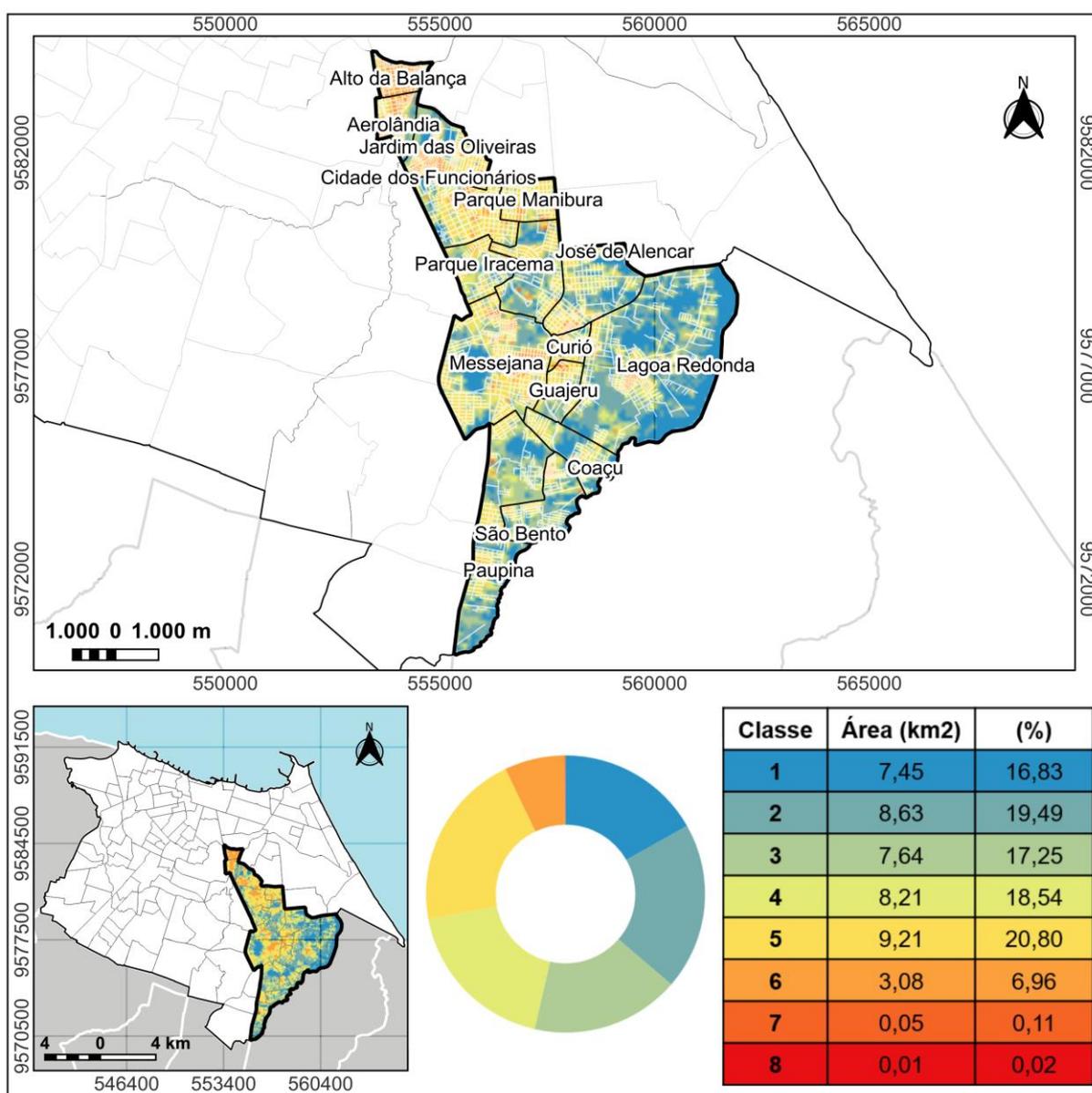
A Classe 5 se destaca como a mais representativa, ocupando uma área de aproximadamente 9,21 km², o que corresponde a cerca de 20,80% da Regional 6. Essa classe apresenta um impacto moderado no clima, indicando a presença de cargas térmicas moderadas nessa parte da região. Isso sugere a necessidade de medidas de mitigação e adaptação para promover um ambiente mais confortável e saudável.

As Classes 2, 3 e 4 também possuem áreas consideráveis, abrangendo 8,63 km², 7,64 km² e 8,21 km², respectivamente. Essas classes representam aproximadamente 19,49%, 17,25% e 18,54% da região. Elas indicam uma relevante influência no clima local, com potenciais efeitos na temperatura do ar e no conforto térmico, de maneira positiva, de acordo com a descrição das classes do UCMMap.

As Classes 1 e 6, ocupando áreas de 7,45 km² e 3,08 km², respectivamente, correspondem a cerca de 16,83% e 6,96% da região. A Classe 1

representa uma amenização moderada, enquanto a Classe 6 indica um conforto térmico já prejudicado nessa área específica. Esses resultados destacam, sobretudo devido a contraposição dessas classes, a importância de ações para promover o conforto térmico e garantir melhores condições climáticas aos habitantes dessa região.

Figura 75 – UCMMap da Regional 6 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

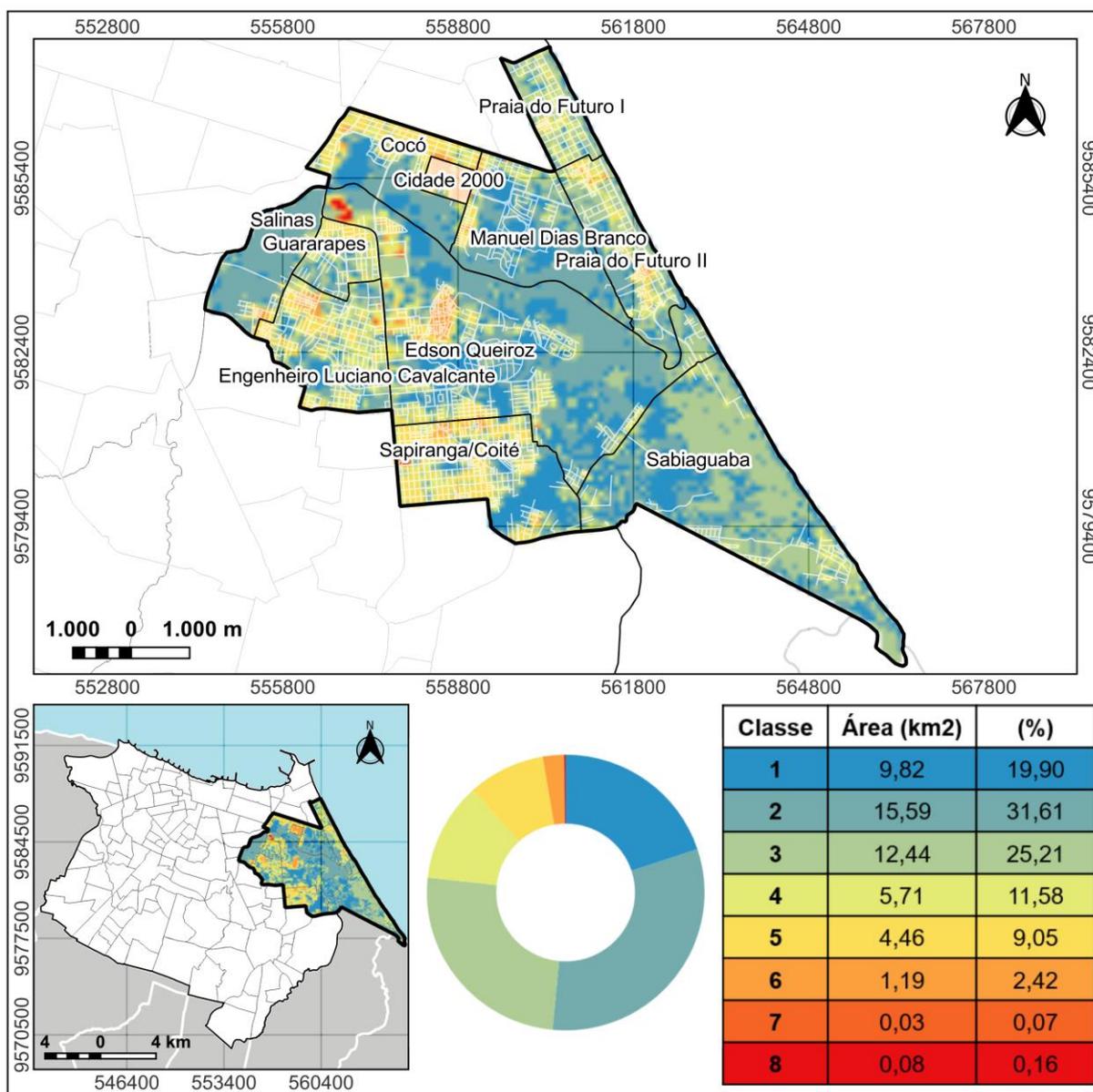
As Classes 7 e 8 possuem áreas menores, com valores de 0,05 km² e 0,01 km², respectivamente. Essas classes representam 0,11% e 0,02% da região, indicando uma presença insignificante em relação às demais classes. Isso sugere

uma ausência de efeitos significativos no conforto térmico e influência climática nessas áreas específicas. A análise detalhada desses dados permite identificar áreas da Regional 6 de Fortaleza com diferentes níveis de impacto no conforto térmico e influência climática.

O diferencial dessa Regional, é a representatividade das classes que contribuem positivamente para o clima urbano, onde as classes 1 e 2 somam 36,32% da área total da regional, se somada a classe neutra (3), esse valor sobe para mais de 50%, diferente das regionais anteriormente analisadas.

A Regional 7, constitui a regional administrativa com a maior dimensão territorial, com 49,33 km². A análise detalhada dos dados da Regional 7 (Figura 76) revela informações importantes sobre as classes e suas respectivas áreas, proporcionando uma compreensão mais precisa do impacto no conforto térmico e influência climática nessa região específica.

Figura 76 – UCMMap da Regional 7 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

Nessa regional, a classe do UCMMap individual mais representativa é a classe 2, abrangendo uma área de 15,59 km², o que corresponde a aproximadamente 31,61% da Regional 7. Essa classe indica um impacto positivo significativo no conforto térmico e na circulação dos ventos nessa parte da região. Dentre as regionais administrativas analisadas, essa é a única que a classe mais representativa está entre as classes com efeitos climáticos positivos.

As Classes 1, 3 e 4 também possuem áreas consideráveis, ocupando respectivamente 9,82 km², 12,44 km² e 5,71 km². Essas classes representam aproximadamente 19,90%, 25,21% e 11,58% da região. Elas indicam diferentes

níveis de impacto no conforto térmico e na influência climática, tendo a classe 1 um efeito de amenização climática, a classe 2 apresenta uma situação de neutralidade e a classe 4 leve elevação.

A Classe 5 ocupa uma área de 4,46 km², correspondendo a cerca de 9,05% da Regional 7. Essa classe indica que a área tem uma carga térmica moderada. As Classes 6, 7 e 8 possuem áreas menores, com valores de 1,19 km², 0,03 km² e 0,08 km², respectivamente. Essas classes representam uma porcentagem relativamente baixa da região (2,42%, 0,07% e 0,16%), sendo essas categorias as mais preocupantes em relação ao aquecimento da área.

Essas condições podem ser explicadas por diversos fatores, sendo um deles a baixa densidade demográfica da região, que ainda é composta por diversas áreas de expansão, vazios urbanos e regiões naturais, favorecendo elementos que têm efeitos positivos tanto para a amenização da temperatura quanto para a circulação do vento, além demandar menos em relação aos atributos urbanos que descaracterizam a paisagem e impactam negativamente o clima local.

A análise das classes do UCMaP referentes à Regional 8 (Figura 77) revela informações importantes sobre o impacto no conforto térmico e influência climática nessa área específica. Essa regional está localizada na porção sul do município, entre as regionais 10 e 9, abrangendo 9 bairros.

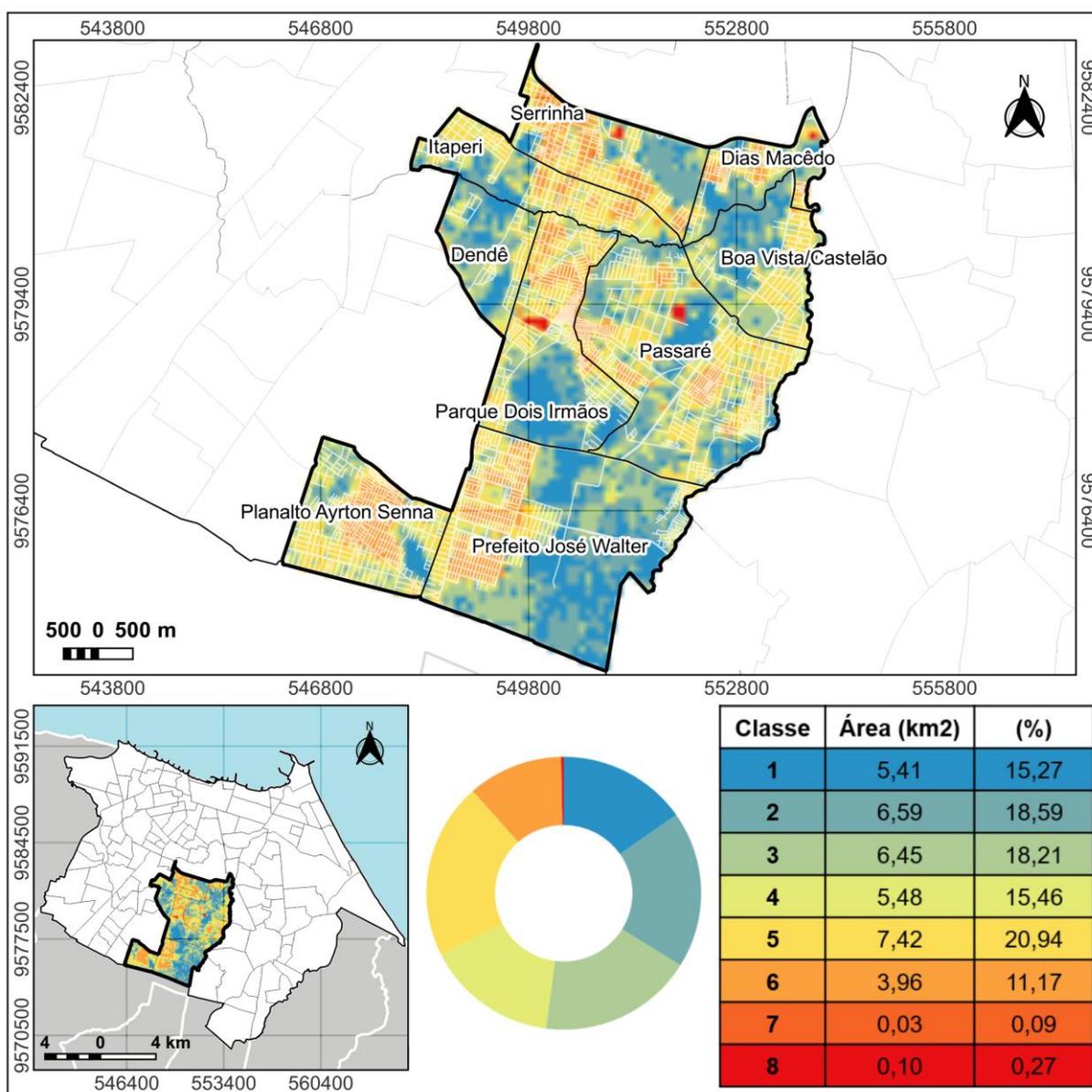
É possível notar que, a Classe 1 abrange uma área de 5,41 km², o que corresponde a aproximadamente 15,27% da Regional 8. Essa classe indica um impacto moderado no conforto térmico, sugerindo a presença de elementos que contribuem para a amenização climática nessa área. A Classe 2 ocupa uma área de 6,59 km², representando cerca de 18,59% da região. Essa classe é classificada como uma amenização leve, indicando a importância da circulação dos ventos para melhorar o conforto térmico nessa área específica. Essas classes correspondem aos efeitos positivos verificados através do UCMaP, estando relacionadas diretamente aos vazios urbanos e áreas de expansão imobiliária neste setor, contribuindo a partir da então manutenção dos atributos naturais, de maneira positiva, para a amenização do clima urbano.

A Classe 3, neutra, possui uma área de 6,45 km², correspondendo a aproximadamente 18,21% da Regional, significando que não exerce um impacto significativo no aumento da temperatura do ar nessa área. A Classe 4 abrange uma área de 5,48 km², representando cerca de 15,46% da região. Essa classe indica

uma elevação leve.

Individualmente, a Classe 5 é a mais representativa na região, ocupando uma área de 7,42 km², correspondendo a aproximadamente 20,94% do território, indicando condições climáticas moderadas. A Classe 6 ocupa uma área de 3,96 km², representando cerca de 11,17% da Regional 8. Essa classe indica um impacto moderado a forte no conforto térmico, sugerindo que as condições climáticas nessa área podem prejudicar o conforto térmico das pessoas. As Classes 7 e 8 são menos representativas, ocupando áreas muito pequenas (0,03 km² e 0,10 km², respectivamente).

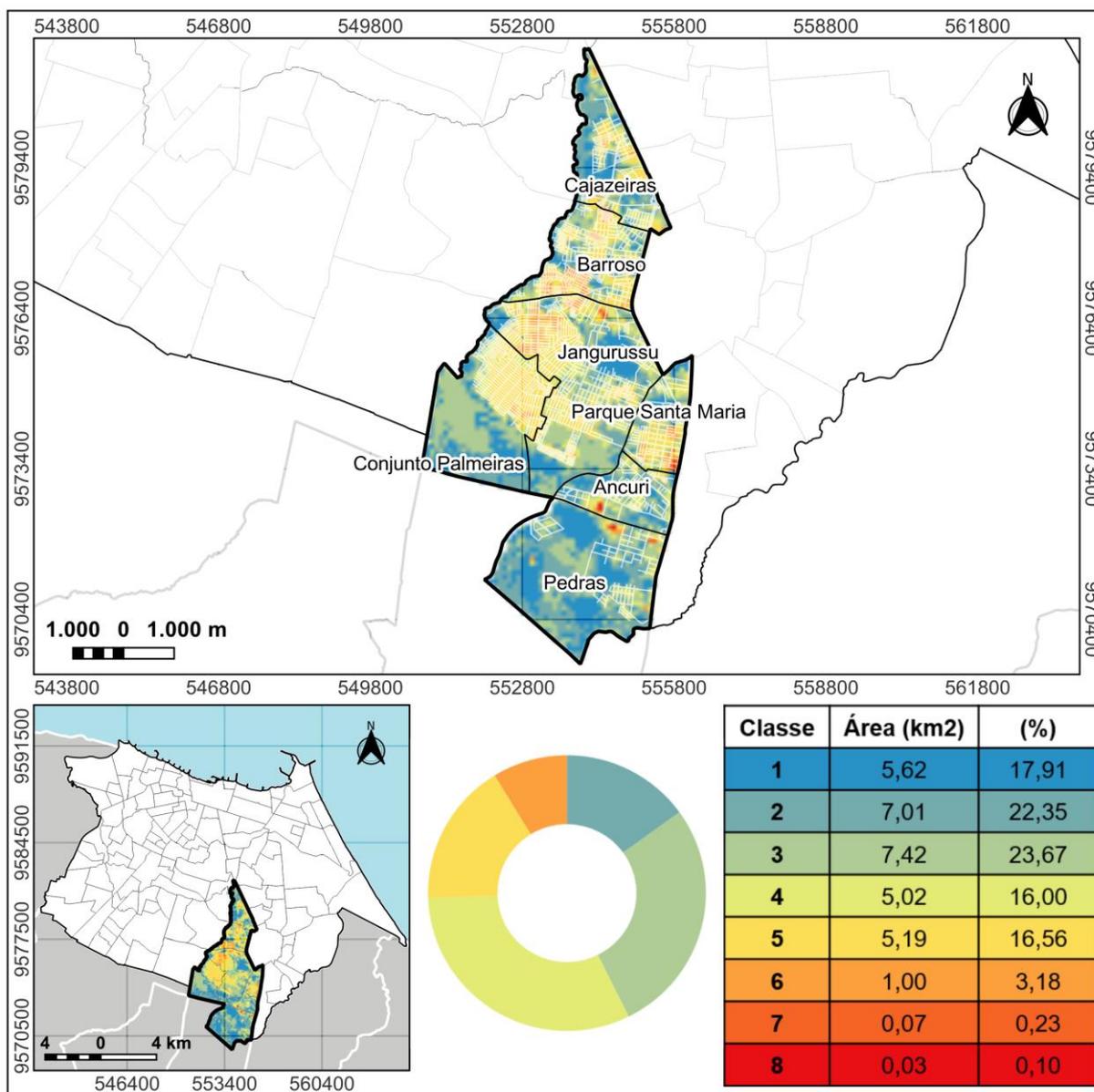
Figura 77 – UCMMap da Regional 8 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

O mapa da Figura 78 apresenta a espacialização do UCMMap da Regional 9. A análise detalhada das classes do UCMMap dessa regional proporciona uma compreensão abrangente das características climáticas e seu impacto no conforto térmico nessa região.

Figura 78 – UCMMap da Regional 9 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

A Classe 1 abrange uma área de 5,62 km², correspondendo a cerca de 17,91% da Regional 9. Nessa classe, observa-se um impacto moderado no conforto térmico, sugerindo a presença de fatores que contribuem para a amenização climática nessa área. Já a Classe 2 ocupa uma área de 7,01 km², representando

aproximadamente 22,35% da região. Essa classe é classificada como uma amenização leve, destacando a importância da circulação dos ventos para melhorar o conforto térmico nesse local. As áreas que compreendem essas duas classes estão relacionadas a espaços de baixa densidade demográfica e vazios urbanos.

Com uma área de 7,42 km², a Classe 3 corresponde a cerca de 23,67% da Regional 9. Essa classe é caracterizada como neutra, indicando que não há um impacto significativo no aumento da temperatura do ar nessa área em particular. A Classe 4 abrange 5,02 km², o que representa aproximadamente 16% da região. Nessa classe, nota-se uma elevação leve, sugerindo uma influência relevante no clima local. Com uma área de 5,19 km², a Classe 5 representa cerca de 16,56% da Regional 9, indicando um impacto moderado, mas sem altas cargas térmicas.

A Classe 6 abrange uma área de 1,00 km², correspondendo a cerca de 3,18% da região. Nessa classe, observa-se um impacto moderadamente forte, indicando que o conforto térmico já pode estar prejudicado nessas áreas específicas. As Classes 7 e 8 possuem áreas menores, de 0,07 km² (0,23%) e 0,03 km² (0,10%), respectivamente.

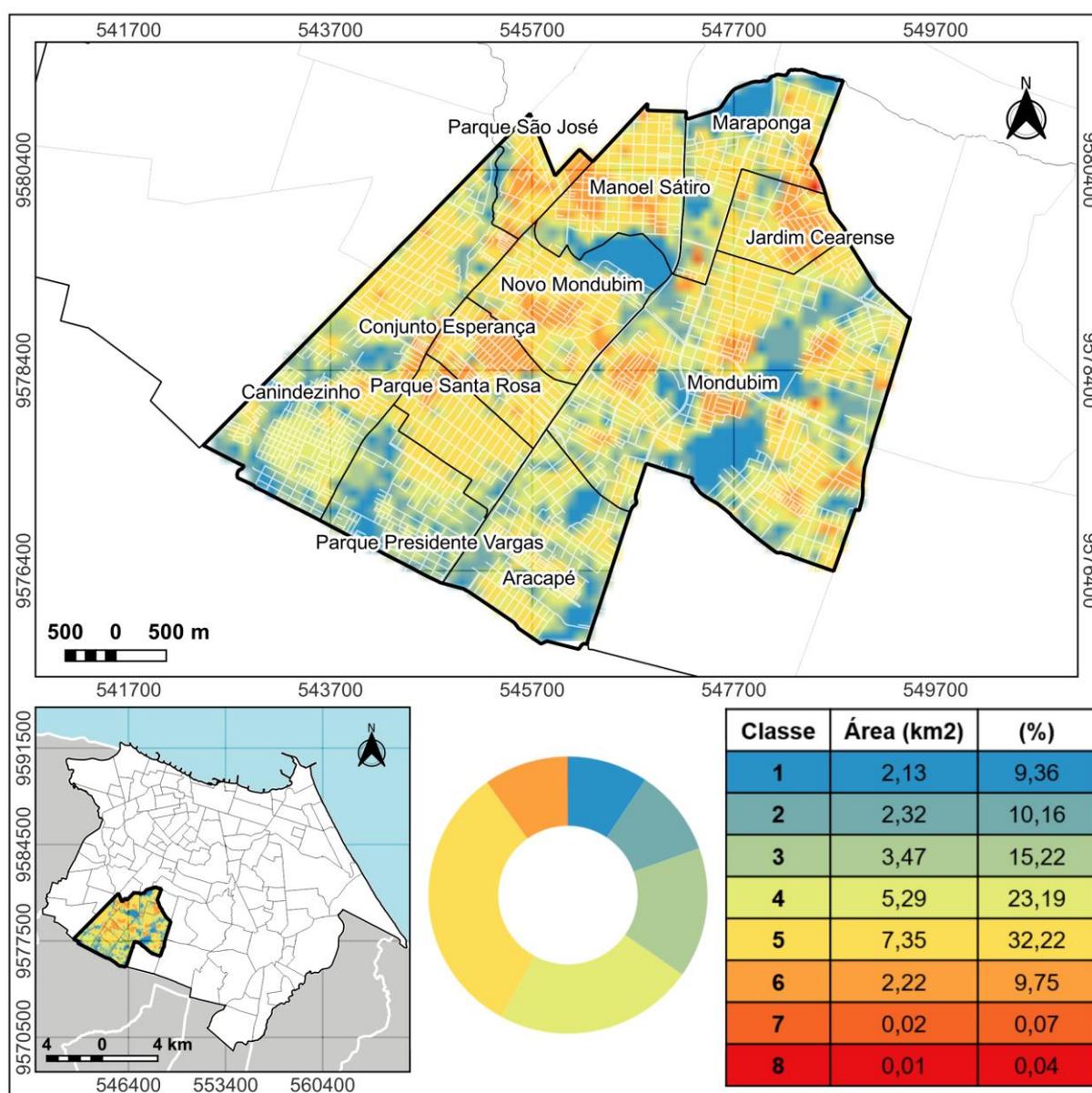
Essa regional caracteriza-se, assim como as Regionais 6, 7 e 8, pela alta heterogeneidade em relação às características de uso e ocupação do solo, apresentando áreas de influência positiva à amenização climática, assim como áreas de impacto leve e moderado para o aquecimento da atmosfera urbana dessa regional.

A Regional 10 está localizada na periferia do município de Fortaleza, e é composta por 11 bairros. O mapa da Figura 79 apresenta o UCMMap para a regional em questão, sendo possível realizar a análise de sua composição a partir das suas especificidades. A Classe 1 ocupa uma área de 2,13 km², correspondendo a aproximadamente 9,36% da região. Nessa classe, observa-se um impacto moderado no conforto térmico, indicando a presença de fatores que contribuem para a amenização climática nessa área específica. A Classe 2 abrange 2,32 km², representando cerca de 10,16% da região. Essa classe é classificada como uma amenização leve, destacando a importância para a circulação dos ventos para melhorar as condições térmicas nesse local. Essas classes estão relacionadas diretamente às lagoas de estabilização e drenagem presentes na área, constituindo matas ciliares e espaços não ocupados.

Com uma área de 3,47 km², a Classe 3 corresponde a aproximadamente

15,22% da região, sendo considerada neutra. A Classe 4 abrange 5,29 km², representando cerca de 23,19% da região. Nessa classe, observa-se uma elevação leve, indicando uma influência relevante no clima local. Com uma área de 7,35 km², a Classe 5 representa aproximadamente 32,22% da região. Essa classe indica um impacto moderado. A Classe 6 ocupa uma área de 2,22 km², correspondendo a cerca de 9,75% da região. Nessa classe, observa-se um impacto moderadamente forte, indicando que o conforto térmico pode estar comprometido nessa área específica. As Classes 7 e 8 possuem áreas menores, com 0,02 km² (0,07%) e 0,01 km² (0,04%), respectivamente.

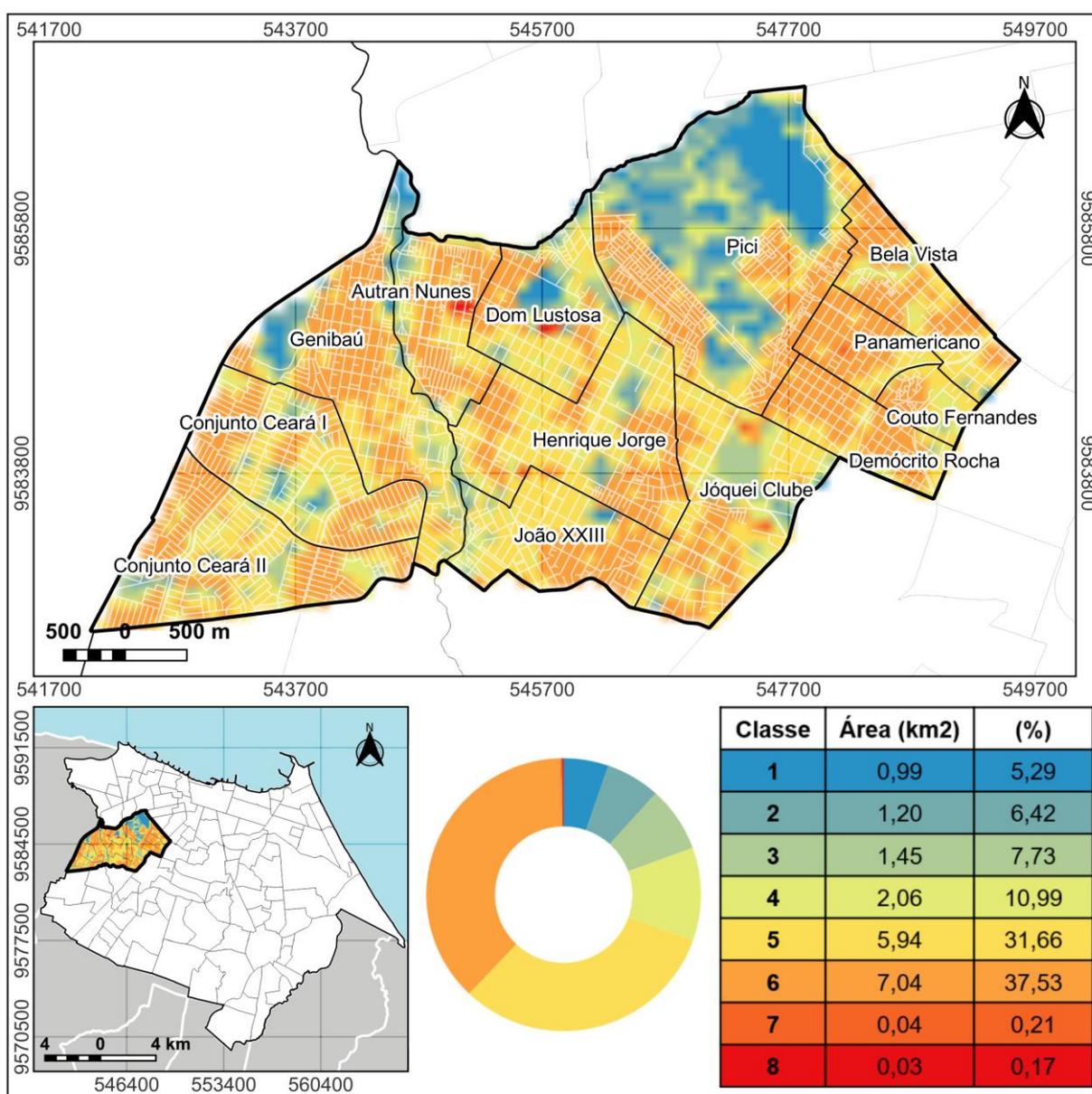
Figura 79 – UCMaP da Regional 10 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

A Regional administrativa 11 está localizada no oeste do município de Fortaleza, limítrofe com o município de Caucaia. No que se refere à interpretação do resultado do UCMMap para a esta regional, segue o mapa na Figura 80, onde foram analisadas as informações pertinentes, como distribuição espacial e área de cada classe representativa da técnica.

Figura 80 – UCMMap da Regional 11 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

A Classe 1 ocupa uma área de 0,99 km², correspondendo a aproximadamente 5,29% da região. Essa classe apresenta um impacto moderado no conforto térmico, indicando a presença de fatores que contribuem para a

amenização climática. Com uma área de 1,20 km², a Classe 2 representa cerca de 6,42% da região. Essa classe é classificada como uma amenização leve, ressaltando a importância da circulação dos ventos para melhorar as condições térmicas nesse local. Essas classes estão diretamente relacionadas aos espaços abertos localizados nos bairros pertencentes a esta regional, onde o rio Maranguapinho e principalmente a área verde do Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará representam áreas importantes dessas respectivas classes.

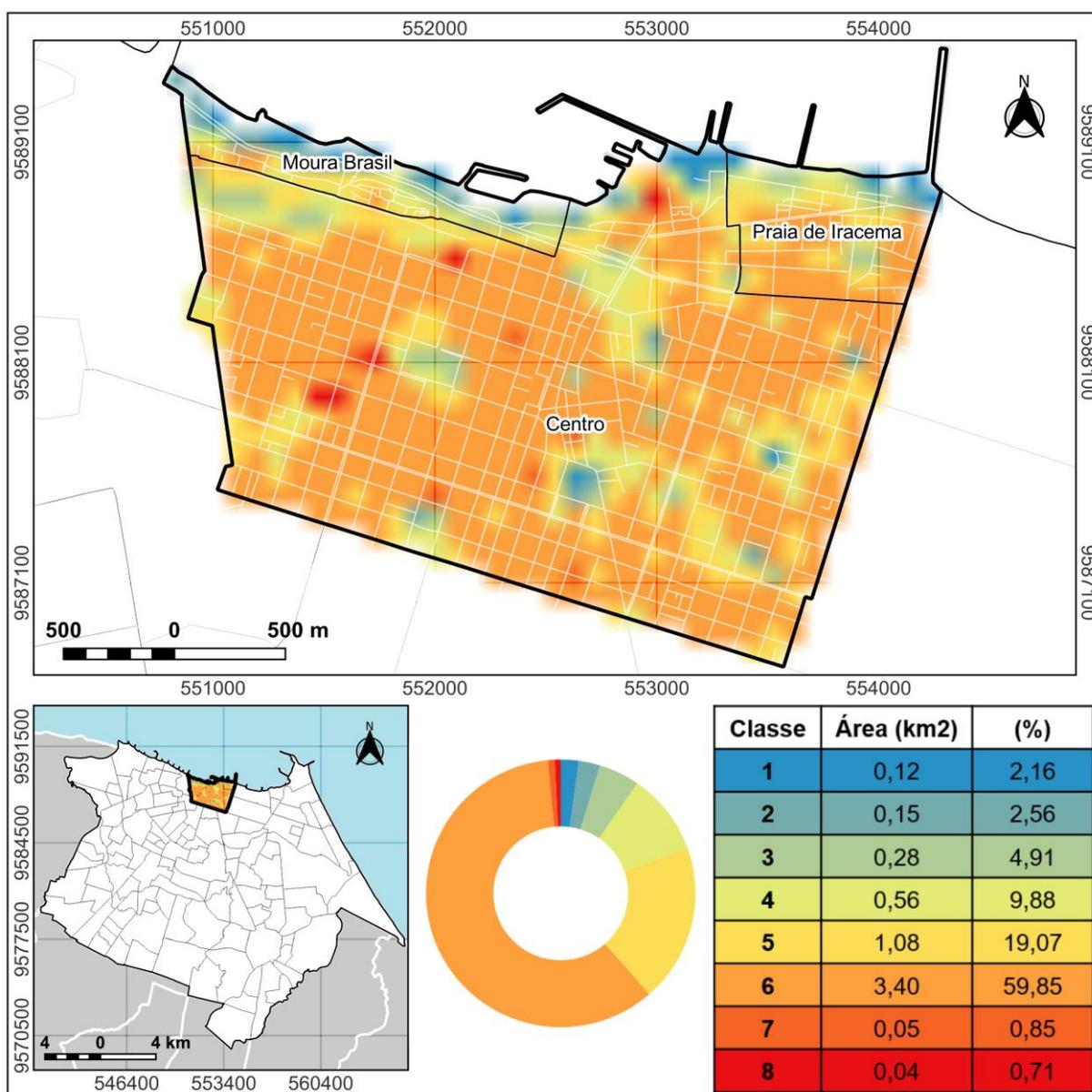
A Classe 3 abrange 1,45 km², correspondendo a aproximadamente 7,73% da região. Essa classe é considerada neutra, indicando que não há um impacto significativo no aumento da temperatura do ar nessa área específica. Com uma área de 2,06 km², a Classe 4 representa cerca de 10,99% da região. Nessa classe, observa-se uma elevação leve.

A Classe 5 ocupa uma área de 5,94 km², correspondendo a aproximadamente 31,66% da região. Essa classe indica um impacto moderado em relação ao aquecimento da atmosfera urbana local. Sendo a classe mais representativa, com uma área de 7,04 km², a Classe 6 representa cerca de 37,53% da região. Nessa classe, observa-se um impacto moderadamente forte, o que indica que o conforto térmico pode estar comprometido nessa área específica, de acordo com o UCMaP. As Classes 7 e 8 possuem áreas menores, com 0,04 km² (0,21%) e 0,03 km² (0,17%), respectivamente, sendo pouco significativas no que se refere as dimensões espaciais ocupadas.

A menor de todas as regionais, sendo constituída de apenas 3 bairros (Centro, Moura Brasil e Praia de Iracema), a Regional 12 tem uma área total de 5,69 km². A análise dos dados referentes à distribuição espacial das classes do UCMaP para a regional 12 de Fortaleza (Figura 81) revela características significativas do ambiente climático nessa área específica. A Classe 1 abrange uma área de 0,12 km², correspondendo a aproximadamente 2,16% da regional 12. Com uma área de 0,15 km², a Classe 2 representa cerca de 2,56% da região. Essa classe é caracterizada por uma amenização leve, sugerindo a relevância da circulação dos ventos para influenciar as condições térmicas locais. Dentre todas as regionais da cidade, esta é a que apresenta a menor cobertura percentual dessas classes, que são importantes para amenizar os efeitos do aquecimento da atmosfera urbana, sendo possível destacar a importância da presença de fatores que contribuem para a melhoria das condições climáticas e do conforto térmico nessa área específica.

A Classe 3 ocupa uma área de 0,28 km², correspondendo a aproximadamente 4,91% da regional. Essa classe é classificada como neutra, indicando que não há um impacto significativo no aumento da temperatura do ar nessa área específica. Com uma área de 0,56 km², a Classe 4 representa cerca de 9,88% da região, observando-se uma elevação leve da temperatura de acordo com a metodologia do UCMaP. A Classe 5 abrange uma área de 1,08 km², correspondendo a aproximadamente 19,07% da regional 12, indicando um impacto moderado.

Figura 81 – UCMaP da Regional 12 de Fortaleza



Fonte: elaborado pelo autor.

Com uma área de 3,40 km², a Classe 6 representa a maior porcentagem

da regional, correspondendo a aproximadamente 59,85%. Nessa classe, observa-se um impacto moderadamente forte, indicando que o conforto térmico pode estar comprometido nessa regional. As Classes 7 e 8 possuem áreas menores, com 0,05 km² (0,85%) e 0,04 km² (0,71%), respectivamente.

Por fim, para compreender a distribuição das classes do UCMaP na cidade de Fortaleza, pode-se realizar um panorama geral, visualizando quais regionais apresentam características espaciais que contribuem para que haja efeitos positivos ou negativos em relação aos efeitos climáticos influenciados pelas camadas de construção do UCMaP.

No que se refere às classes 1 e 2, que compreendem àquelas que contribuem para amenizar os efeitos climáticos urbanos, as Regionais 7, 9, 6 e 8 apresentaram os maiores percentuais, alcançando mais de 30% da área total dentro dessas classes específicas (51,51%, 40,26%, 36,32% e 33,86% respectivamente). Essas regionais localizam-se na porção sul/sudeste do município de Fortaleza, região que mantém parte significativa de ambientes naturais e áreas de expansão urbana, sem edificações, onde é porção com os menores valores demográficos da cidade, justificando os dados analisados.

As regionais com os menores valores percentuais das classes 1 e 2, foram as Regionais 12 e 3, obtendo menos de 10% do seu território recoberto por elementos que favoreçam a amenização climática, com 4,73% e 7,05% respectivamente. A Regional 12 caracteriza-se por localizar-se no centro comercial da cidade, área com muitas edificações de porte intermediário, onde os principais elementos que amenizam o clima, são as áreas verdes e praças urbanas e à proximidade com o mar. Já a regional 3 apresenta altos valores de densidade demográfica, sendo totalmente urbanizada e ocupada, com edificações horizontalmente adensadas e poucos elementos representativos das classes em discussão.

As classes 5 e 6 representam impactos moderados e moderadamente fortes no clima urbano da cidade, portanto consideradas como classes de efeitos negativos. Para essas classes, as regionais com porcentagens mais representativas são as Regionais 12, 3, 11, 1 e 2 respectivamente, compreendendo os setores oeste e norte do município de Fortaleza, alcançando mais de 60% da área dessas regiões (78,92%, 75,77%, 69,19%, 65,91% e 62,16% respectivamente).

Como descrito anteriormente, a Regional 12 apresenta uma densidade de

edificações elevada, justificando sua posição em relação a essas classes. As regionais 3,1 e 11, localizadas na porção oeste da cidade, apresentam características urbanas semelhantes, com alta densidade horizontal de edificações, que geram um volume edificado de alto valor, causado pelo alto índice de ocupação populacional, que demanda serviços urbanos e de habitação. Assim como as regionais anteriormente descritas, a Regional 2 também apresenta alta densidade demográfica, no entanto, o padrão construtivo tem uma singularidade. É nessa regional que se encontra a área mais verticalizada da cidade, com prédios acima de 10 andares.

Apesar de pouco representativas, as classes 7 e 8, representam as mais críticas em relação aos efeitos negativos para o clima da cidade. Nessas classes, pode-se destacar as regionais 3, 12 e 1 como aquelas que apresentaram maior porcentagem de elementos que contribuam diretamente para esses efeitos fortes e críticos, sendo as únicas regionais que apresentaram mais de 1% de seu território inserido nesse contexto (1,92%, 1,56% e 1,16% respectivamente). A Regional 3 e 1 apresentam características similares, tanto relacionado à localização geográfica quanto ao uso e ocupação do solo, que principalmente pelo grande volume de edificações de baixo porte causa essa situação de estresse térmico. Já a regional 2 tem o volume edificado relacionado ao processo avançado de verticalização, que causa esses recortes de alta carga térmica.

Percebe-se que, Fortaleza, apesar de heterogênea, apresenta padrões em relação aos atributos de uso e ocupação do solo que influenciam diretamente na carga térmica e potencial dinâmico que compõe o mapa climático urbano. Sendo verificados os setores oeste/norte como os mais problemáticos, enquanto a região leste/sul apresenta características de potencial dinâmico acentuadas.

O UCMaP contribui de maneira importante, dando base de entendimento sobre os parâmetros espaciais e urbanísticos que contribuem para a potencialização ou amenização dos efeitos climáticos urbanos. No entanto, se faz necessário verificar *in situ*, através de medições pontuais os atributos climáticos da cidade, integrando os métodos para obter o melhor entendimento do clima urbano de Fortaleza, sobretudo relacionado ao campo térmico da cidade.

8 REGISTRO E TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS EM CAMPO

Objetivando a padronização dos dados coletados em campo, optou-se pela utilização dos dados de temperatura do ar coletados durante a campanha realizada especificamente para esta pesquisa. Foram analisados os dados coletados durante os meses de novembro e dezembro de 2021 e janeiro, fevereiro e março de 2022, onde foi definido o intervalo de coleta de dados de 10 em 10 minutos, com o intuito de obter maior detalhamento do comportamento do campo térmico do município de Fortaleza.

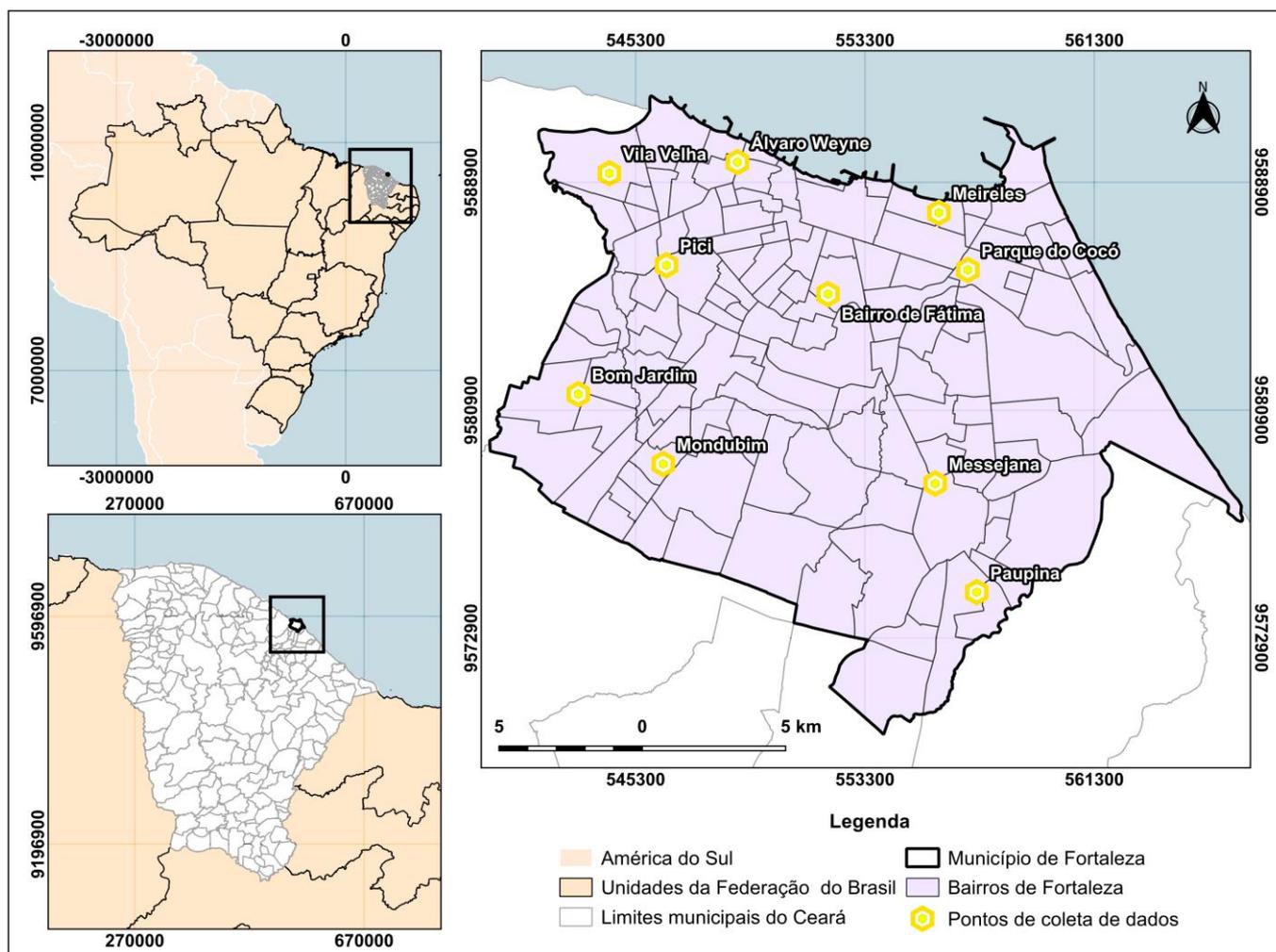
Os equipamentos foram instalados dentro dos abrigos, em ambientes abertos e protegidos da insolação direta e da chuva. Para esta etapa, foi necessário contar com o auxílio da comunidade acadêmica e população local, pois por medida de segurança, os equipamentos não poderiam ficar expostos em ambientes externos, sendo necessário aloca-los no interior de propriedades particulares que respeitassem os critérios estabelecidos.

É importante destacar que esta etapa da pesquisa foi desenvolvida em parceria com o Instituto Sueco de Meteorologia e Hidrologia (Swedish Meteorological and Hydrological Institute – SMHI). O instituto colaborou com parte dos equipamentos necessários para realizar a coleta de dados, enquanto o Laboratório de Climatologia Geográfica e Recursos Hídricos (LCGRH/UFC) adquiriu o restante dos equipamentos necessários.

8.1 Coleta de dados de temperatura do ar

Sendo assim, foram escolhidos 10 pontos para a realização da coleta de dados de temperatura do ar, tendo em vista a logística, segurança e as características de uso e ocupação do solo do entorno desses pontos, visando abarcar a maior diversidade de características de uso do solo urbano, para compreender a dinâmica térmica do município relacionada a esses elementos. O mapa da Figura 82 apresenta a localização geográfica dos pontos de coleta de dados.

Figura 82 – Localização geográfica dos pontos de coleta de dados



Fonte: elaborado pelo autor.

A seguir, é possível visualizar as características de cada ponto de coleta de dados e sua área de entorno, relacionando principalmente com as características de uso e ocupação do solo, as classes do UCMMap e o gabarito das edificações que ocupam esses lugares. Os pontos serão descritos em ordem alfabética, de acordo com o nome dado, de acordo com o bairro ou localização específica na qual está situado.

8.1.1 Álvaro Weyne

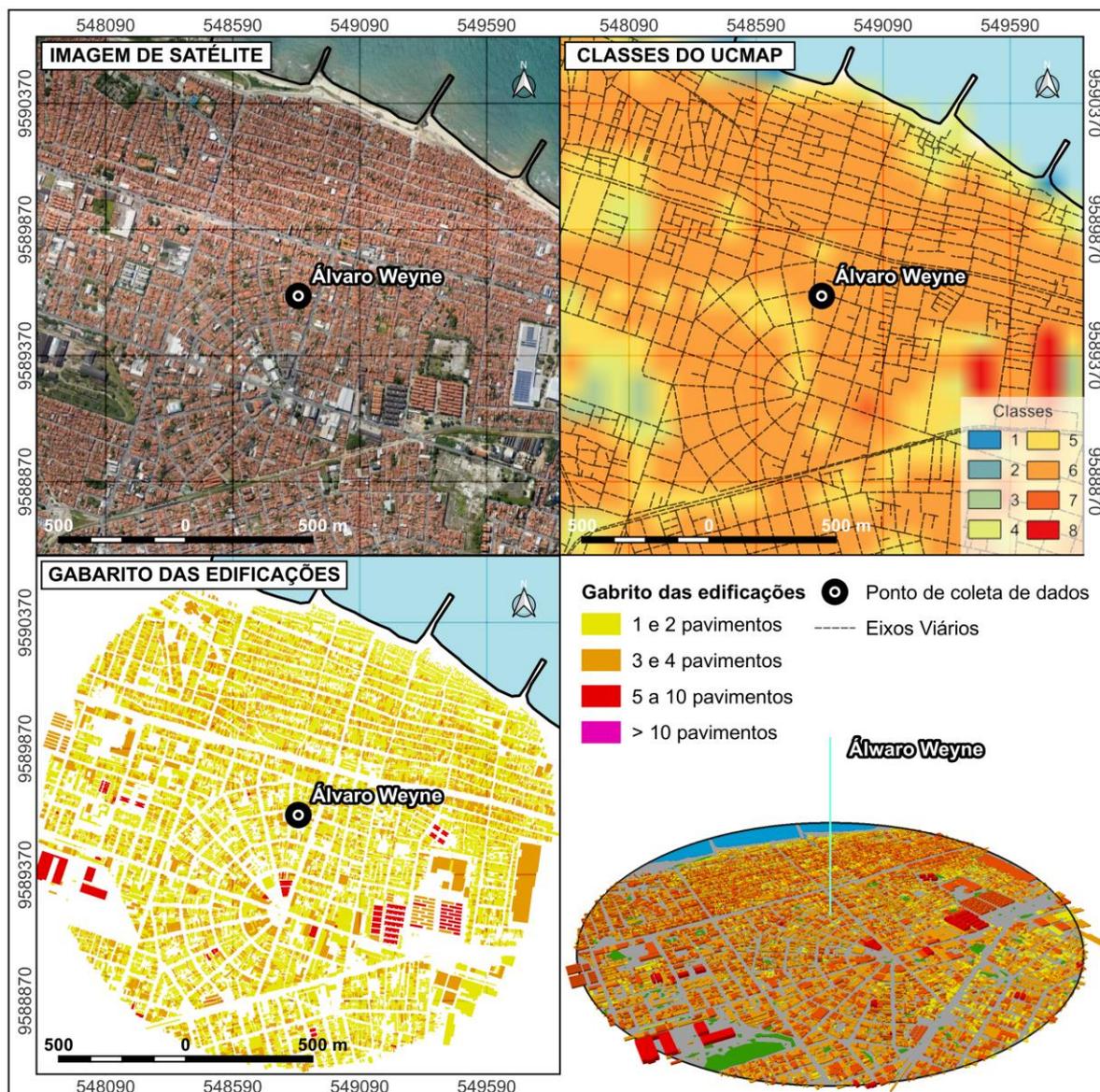
O primeiro ponto localiza-se no bairro Álvaro Weyne, na Regional Administrativa 1. O bairro está localizado em uma área de altíssima densidade demográfica, cercado por bairros como Carlito Pamplona, Cristo Redentor, Pirambú

e Ellery que também apresentam altos valores de densidade populacional. A densidade demográfica (de acordo com o mapa da Figura 28) no bairro Álvaro Weyne é um pouco maior que 18 mil habitantes por quilometro quadrado (h/km^2), e os bairros no seu entorno podem chegar a quase 35 mil h/km^2 , como é o caso do bairro Pirambú. A imagem a seguir mostra o equipamento instalado no local

A alta densidade demográfica faz com que haja um volume elevado de edificações nessa área, sendo observada a escassez de elementos naturais preservados e espaços livres que contribuam para o arrefecimento da atmosfera urbana. O padrão de edificações verificado no entorno do ponto de coleta de dados é de residências geminadas (conhecidas como parede com parede), onde quase que 100% dos lotes são construídos, não sendo verificados recuos frontais, laterais ou traseiros em grande parte das residências, o que gera um volume horizontal edificado bastante elevado, contribuindo para o sobreaquecimento da atmosfera local, como é possível visualizar na Figura 83, que mostra a visão aérea, as classes do UCMMap e o gabarito das edificações no entorno deste ponto.

Ao observar a visão aérea, percebe-se que, além da proximidade com o mar e alguns pontos de vegetação isolados, a área não apresenta grandes atributos de uso e ocupação do solo que influenciam positivamente para o arrefecimento da atmosfera urbana, predominando uso antrópico do espaço, com materiais como concreto, telhas de cerâmica e pavimentação asfáltica visivelmente dominando a paisagem deste local. O gabarito das edificações é predominantemente de baixo porte, com no máximo 4 pavimentos, sendo verificadas edificações pontuais nas outras classes.

Figura 83 – Caracterização da área de entorno no ponto do Álvaro Weyne (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação ao resultado do mapeamento climático urbano, percebe-se que a classe 6 representa a maior parcela do território no entorno do ponto de coleta do bairro Álvaro Weyne. Essa classe é avaliada como de impacto moderado à elevação da temperatura do ambiente urbano.

8.1.2 Bairro de Fátima

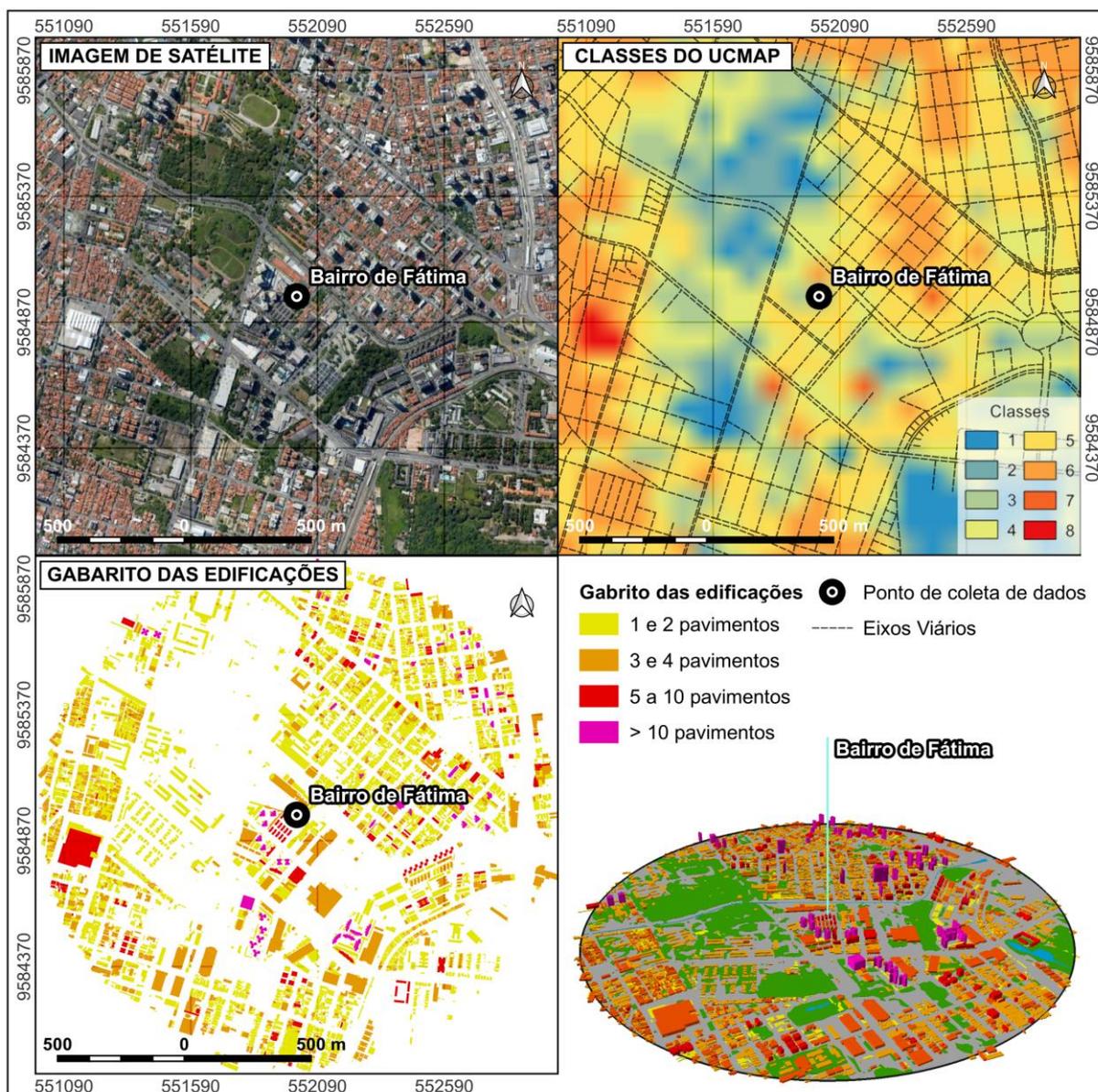
O equipamento instalado no Bairro de Fátima, localizado na Regional 4 do município de Fortaleza. Esse bairro apresenta características singulares em relação

a seu uso e ocupação do solo, apresenta-se como misto, com predominância do uso residencial e uma heterogeneidade no padrão construtivo. Ao mesmo tempo que possui residências antigas, de porte baixo, vem passando por um processo de verticalização no decorrer dos anos, preenchendo os vazios com condomínios verticais elevados.

O bairro de Fátima possui uma população de 25.695 habitantes, e uma extensão territorial considerável, onde a densidade demográfica do bairro alcança valores médios, ocupando a posição 79 no *ranking* dos bairros mais adensados de Fortaleza. É possível perceber através da Figura 84, ao observar a visão aérea do raio de 1 km ao redor do ponto de coleta de dados, que a região apresenta diversos espaços livres e abertos, com presença de vegetação densa, o que pode contribuir para a circulação do vento e amenização dos efeitos climáticos negativos. Outra característica marcante é o tamanho dos lotes, que ao comparar com outras regiões do município, possuem uma dimensão maior e com maior distanciamento entre as edificações, além de possuir avenidas largas e uma variedade no padrão de edificações, onde são verificadas construções de baixo porte, verticalização intermediária (até 10 pavimentos), e prédios com mais de 10 andares.

Em relação ao resultado do UCMMap aproximado para a região de entorno desse ponto, é perceptível uma maior heterogeneidade das classes presentes na área. Nota-se que, existe uma extensa área inserida nas classes 1 e 2, que correspondem aos efeitos positivos em relação ao potencial dinâmico. Existe uma representatividade importante das classes 4 e 5 (impacto leve e moderado), onde há influência direta no volume edificado para o aquecimento do ar.

Figura 84 – Caracterização da área de entorno no ponto do Bairro de Fátima (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

8.1.3 Bom Jardim

O Grande Bom Jardim é um território constituído por um conjunto de bairros localizados entre as Regionais Administrativas 5 e 10. O mesmo é composto pelos seguintes bairros: Bom Jardim, Granja Portugal, Granja Lisboa, Canindezinho e Siqueira. O Grande Bom Jardim, é uma região que enfrenta desafios significativos em termos de violência urbana e concentração de pobreza e extrema pobreza. Essa área é caracterizada por altos indicadores desses problemas sociais (BEZERRA,

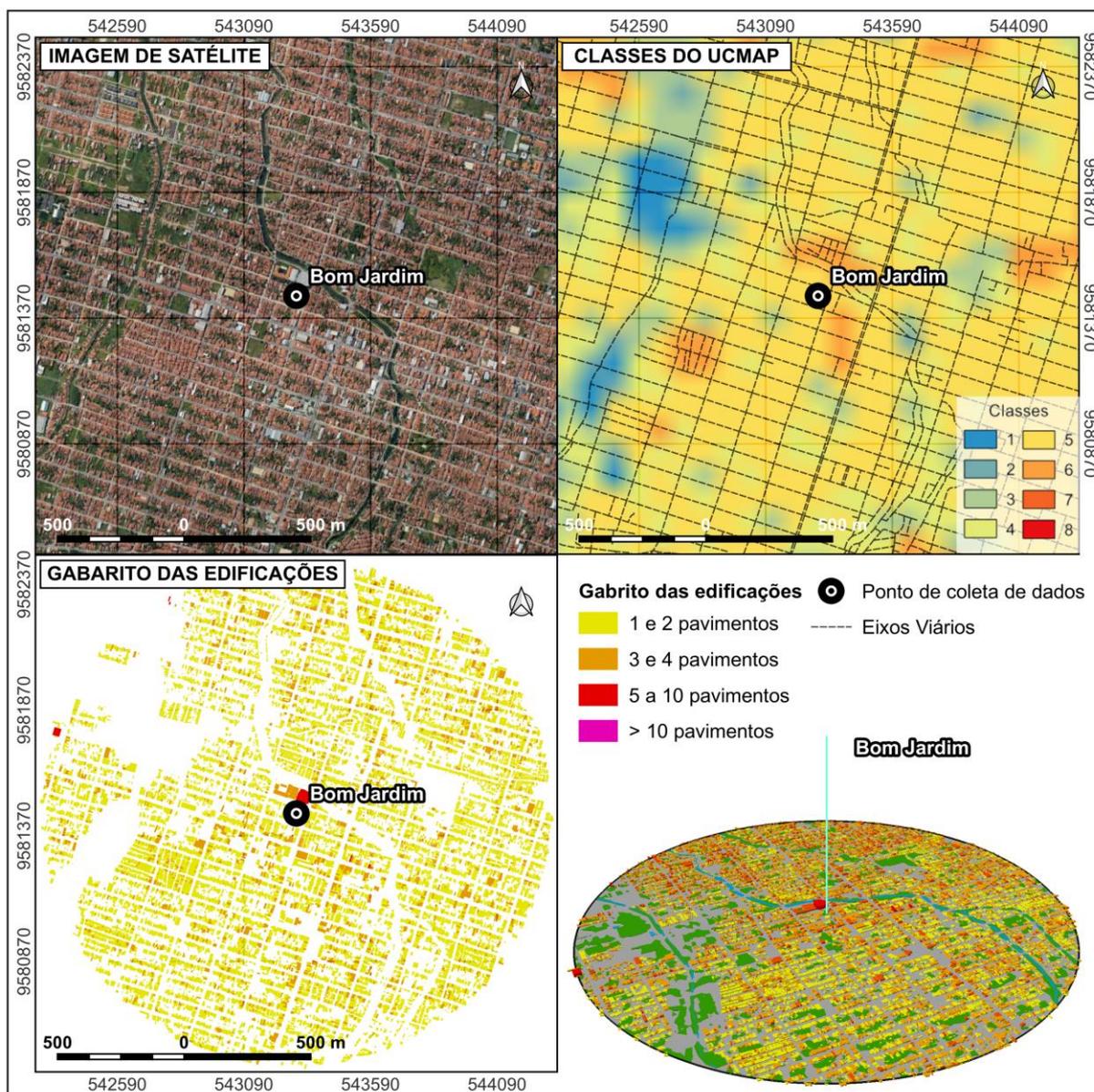
2015).

O equipamento foi instalado na Granja Lisboa, no ponto mais próximo entre o limite do bairro com os bairros Bom Jardim e Granja Portugal, ao lado do Centro Cultural do Bom Jardim. A densidade demográfica na Granja Lisboa é de um pouco mais de 11 mil h/km², enquanto no Bom Jardim e na Granja Portugal são verificadas densidades acima de 17 mil h/km² (17.046,27 e 17.318,54 respectivamente), o que caracteriza uma altíssima densidade demográfica na região, gerando demanda por equipamentos urbanos e desordem em relação à ocupação do território.

No que se refere às características de uso e ocupação do solo, a região em questão possui elementos residenciais, com alta porcentagem de cobertura por edificações e presença de espaços abertos relacionados principalmente à drenagem fluvial e a vazios urbanos. Como é possível visualizar na Figura 85, a área em questão possui um adensamento horizontal de edificações bastante elevado, onde as vias de acesso são bastante estreitas e as quadras uma dimensão espacial reduzida. Os lotes são quase que 100% edificados, não havendo recuo e espaçamento entre as residências.

As residências dessa região são compostas, em sua maioria, por edificações baixas, de 1 a 4 pavimentos, de uso residencial ou de comércio familiar de pequeno porte. O material construtivo mais utilizado na área é composto por alvenaria e telhas de cerâmica, na maior parte dos prédios, enquanto as vias de acesso têm pavimentação asfáltica e em muitos casos “terra batida”, nas áreas mais isoladas. O mapeamento climático urbano aproximado para a região, indica que a maior parte do território no raio de 1 km do ponto de coleta, está inserido na classe de número 5, com influência moderada sobre o aumento da temperatura do ar, enquanto os pontos de drenagem e terrenos baldios com vegetação estão inseridos nas classes 1 e 2, com efeitos positivos para o potencial dinâmico.

Figura 85 – Caracterização da área de entorno no ponto do Bom Jardim (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

8.1.4 Meireles

Representando a área de intensa verticalização, foi escolhido o bairro Meireles, localizado na Regional Administrativa 2, por ser o bairro com a verticalização mais consolidada. O bairro possui uma população de 40.771 habitantes e tem a renda média de R\$ 3.659,54, a mais alta da cidade. A densidade demográfica na área é considerada relativamente alta, Sua história remonta a 1970,

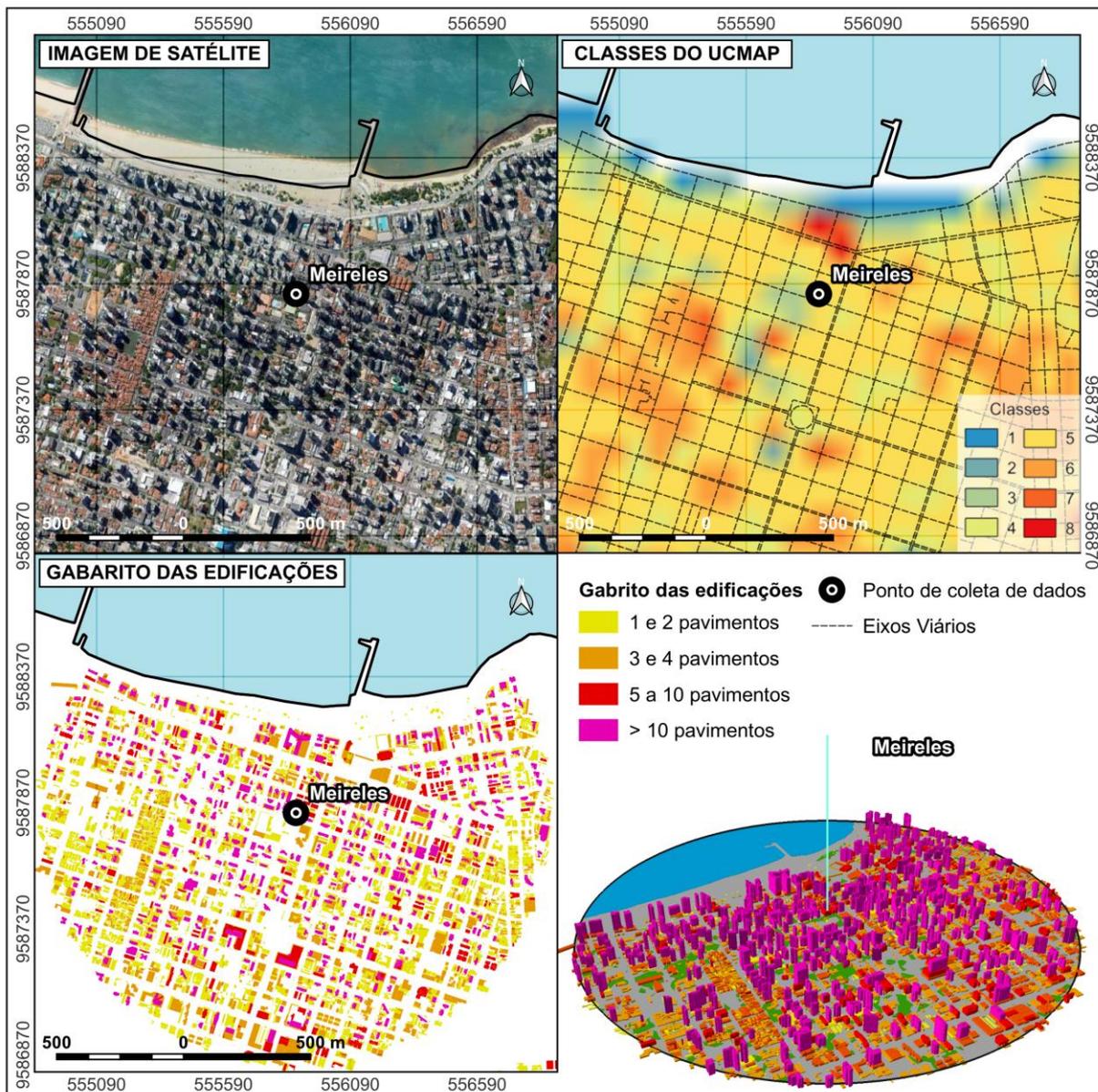
quando começou a se desenvolver com a construção de residências, inicialmente de natureza unifamiliar. Ao longo dos anos, houve uma transição gradual para residências multifamiliares, e atualmente há uma predominância de condomínios residenciais verticais de alto padrão (AGUIAR et al., 2017).

O bairro desfruta de uma infraestrutura privilegiada, com uma variedade de comércio e serviços disponíveis. A pavimentação das ruas e avenidas é predominantemente (quase que 100%) composta por material asfáltico, enquanto o material de construção mais utilizado nas edificações é o concreto, com estruturas de aço e revestimentos cerâmicos, como é possível visualizar na imagem de satélite da Figura 86.

No que se refere ao padrão do gabarito das edificações, percebe-se a predominância de prédios elevados, acima de 10 andares, entre edificações mais baixas, entre 1 e 10 pavimentos. Em comparação aos bairros localizados na periferia, as vias são mais largas e padronizadas, beneficiando a circulação do vento. É possível notar que, as áreas arborizadas, limitam-se aos espaços abertos e comuns dos condomínios residenciais e à arborização urbana. Um ponto importante a se destacar, é a proximidade dessa região com o mar, elemento mais importante para o arrefecimento da atmosfera urbana nessa região. Essa área é diretamente beneficiada pelos constantes ventos alísios e principalmente pelas brisas marítimas, que atuam para amenizar a sensação térmica e principalmente na dissipação do calor produzido nessa região.

Ao visualizar a aproximação do UCMAP para o raio de 1 km no entorno deste ponto, percebe-se que a proximidade com o mar e as praças e pequenas áreas arborizadas, são os únicos fatores de amenização climática, sendo a área dominada pelas classes 5 e 6, que apresentam impacto moderado e moderadamente forte no clima local.

Figura 86 – Caracterização da área de entorno no ponto do Meireles (raio de 1 km)



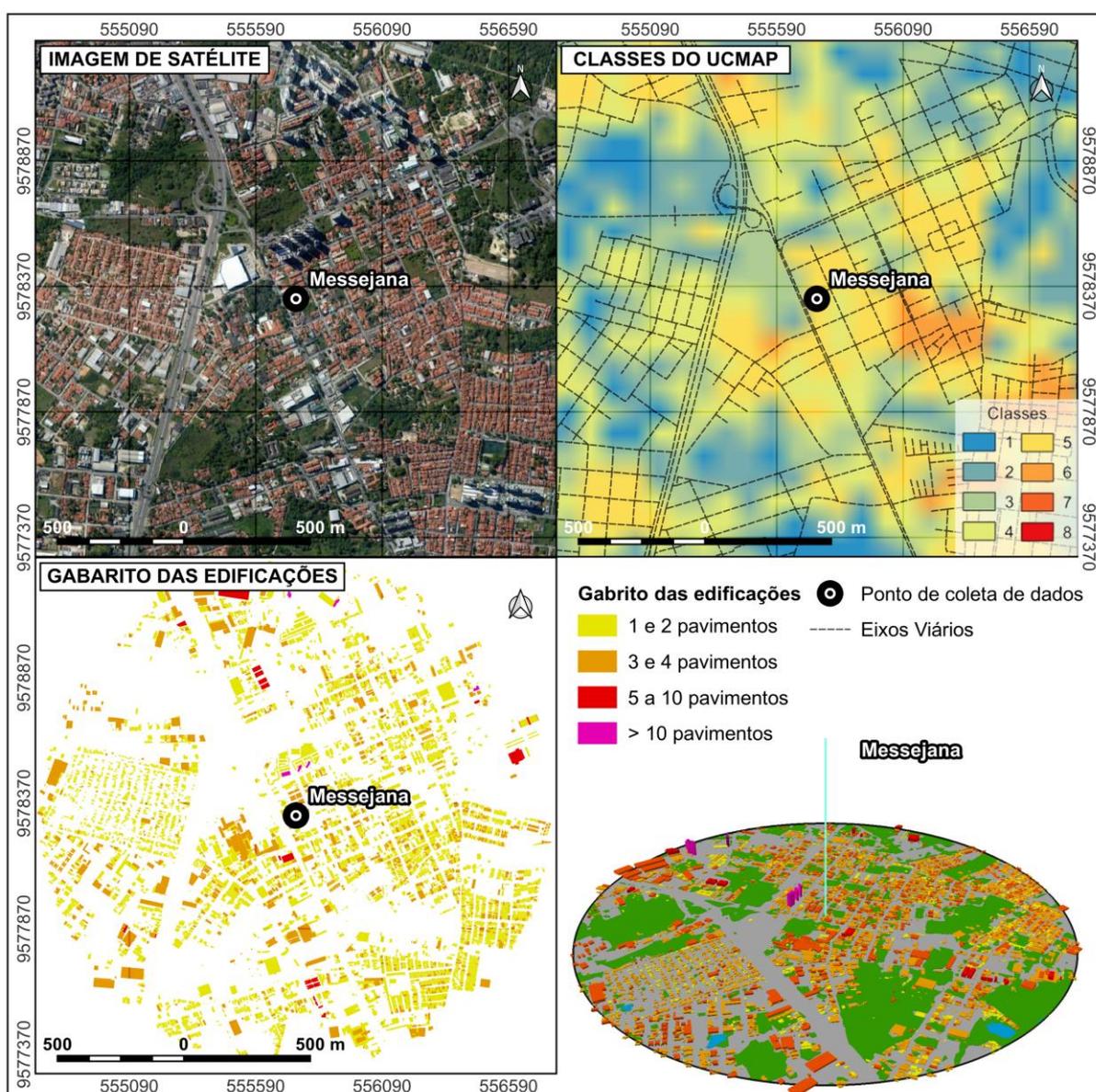
Fonte: elaborado pelo autor.

8.1.5 Messejana

O bairro de Messejana localiza-se na porção sudeste da cidade de Fortaleza, especificamente na Regional Administrativa 6. Messejana, tem sido ocupada por séculos ao longo de sua história, e passou por várias fases de uso e ocupação distintas, cada uma delas modificando as condições naturais da região. Isso resultou em diferentes padrões de uso e ocupação do solo que podem ser encontradas no bairro atualmente (PAIVA; ZANELLA, 2013).

Messejana configura uma área importante para a cidade de Fortaleza, sendo polo econômico da região e apresentando níveis de urbanização elevados associados com espaços vazios e com presença imponente de vegetação, por isso a escolha deste local. O bairro apresenta um valor médio de densidade demográfica, se comparado a outros bairros do município, onde vivem 45.960 habitantes, resultando em uma densidade populacional de 7.591,68 habitantes por quilometro quadrado, cercado por bairros com densidade similar ou menor. A partir da análise da Figura 87, é possível perceber as características de uso e ocupação desse bairro.

Figura 87 – Caracterização da área de entorno no ponto da Messejana (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

Em um raio de 1 km no entorno do ponto de coleta de dados, é possível notar a presença de diversas áreas arborizadas, o que contribui diretamente para o potencial dinâmico da região. As construções de alvenaria predominam no bairro, onde a cobertura das edificações é composta majoritariamente por telhas de cerâmica. A área é composta por aglomerados urbanos, em sua maioria residenciais e com 1 e 2 pavimentos, sendo verificadas edificações de até 4 pavimentos e em menor quantidade, acima de 10 andares.

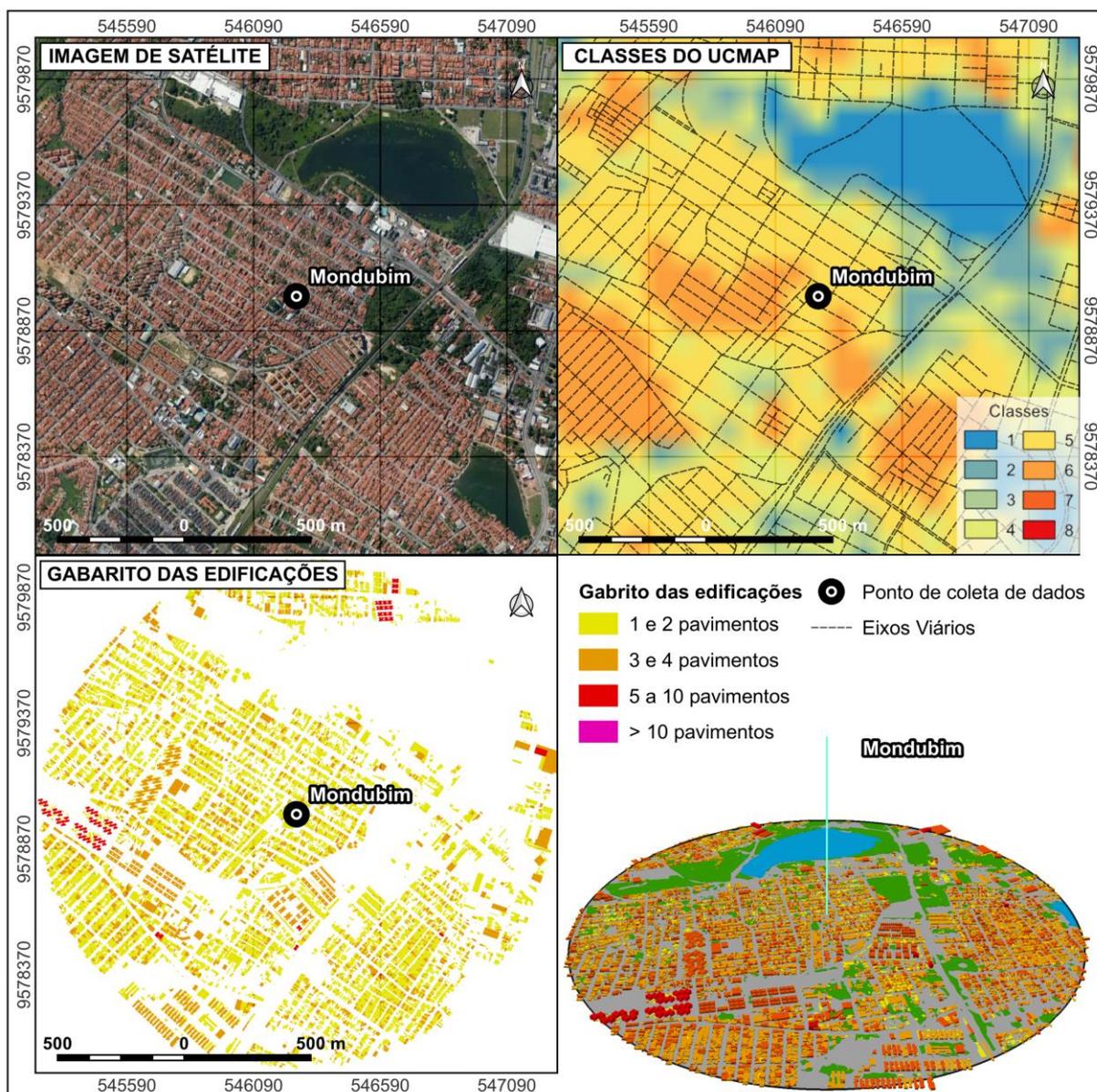
O UCMMap aproximado para o raio analisado, revela a existência de diversos pontos importantes para a amenização climática e circulação do vento (classes 1 e 2 do mapeamento climático urbano). A classe 5 e a classe 6 do mapeamento também apresentam relevância espacial, coincidindo com as áreas urbanizadas, onde as mais adensadas representam um impacto mais forte sobre o clima local do bairro.

8.1.6 Mondubim

O Novo Mondubim é um bairro localizado na periferia da cidade de Fortaleza, que integra a Regional Administrativa 10, fazendo parte do território denominado Grande Mondubim. Atualmente, no bairro vivem cerca de 62.659 pessoas, gerando uma densidade demográfica de 8.788,08 habitantes por quilometro quadrado, densidade considerada média em relação aos outros bairros da cidade (80º colocado no *ranking*), sendo cercado por bairros de menor ou similar densidade populacional, destaque para o Conjunto Esperança, bairro próximo que possui alta densidade, de 18.487,73 h/km².

Através da Figura 88, percebe-se que a área analisada apresenta características urbanas consolidadas, com alta densidade de edificações, construídas em alvenaria e cobertura de telhas de cerâmica, padrão construtivo verificado na maioria dos bairros de Fortaleza, principalmente os localizados na periferia da cidade. As ruas e avenidas possuem pavimentação asfáltica e variação na faixa de largura, mais amplas nas avenidas principais e mais estreitas nos aglomerados habitacionais.

Figura 88 – Caracterização da área de entorno no ponto do Mondubim (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

O gabarito das edificações são entre 1 e 4 pavimentos, em sua maioria, no entanto, é possível visualizar um número considerável de edificações acima de 4 andares. Essas edificações mais elevadas estão diretamente relacionadas aos condomínios residenciais populares, geralmente com 5 pavimentos. Nessa área específica não há edificações elevadas, acima de 10 andares. A análise do UCMAP no raio de abrangência do ponto de coleta de dados, revela uma heterogeneidade em relação à cobertura do solo, onde existem as classes 1 e 2, referentes aos elementos naturais que influenciam positivamente para a amenização climática,

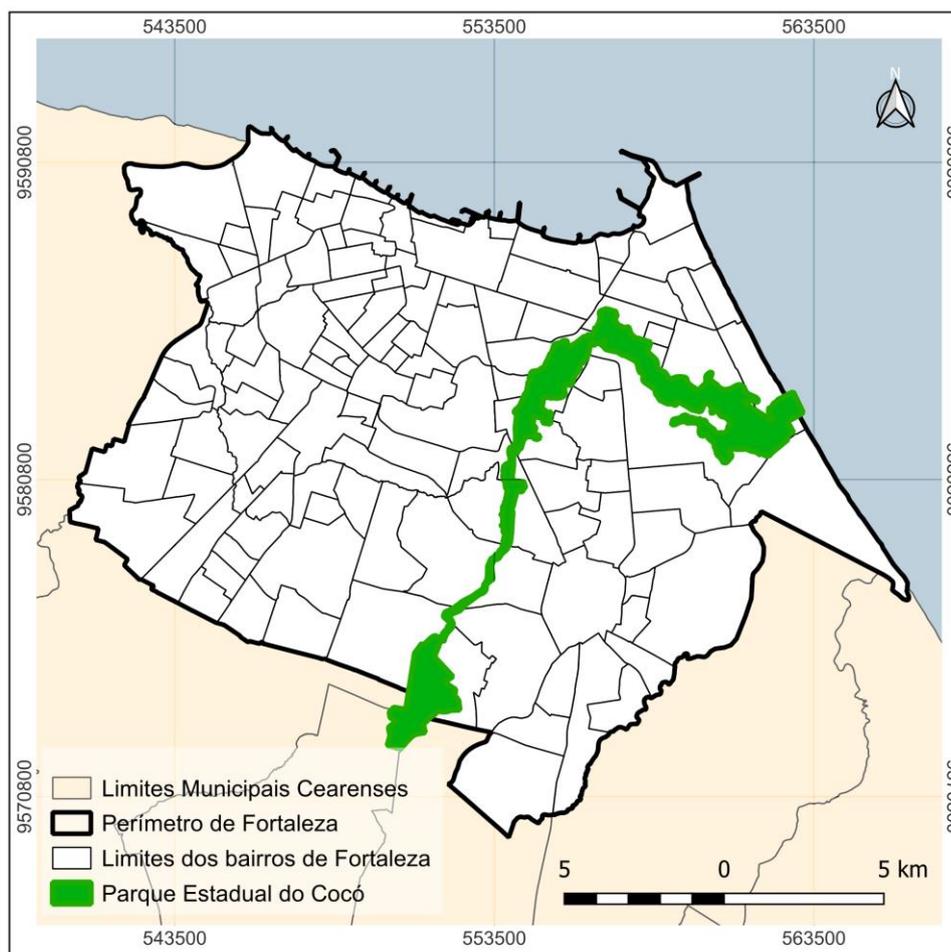
como a Lagoa do Mondubim e sua área de entorno e as áreas abertas com presença de vegetação. Em maior quantidade, são verificadas as classes 5 e 6, onde há impacto moderado e moderadamente forte, respectivamente. As áreas com maiores aglomerados urbanos, vias mais estreitas e lotes totalmente edificados apresentam um valor maior no mapeamento climático urbano.

8.1.7 Parque do Cocó

Na cidade de Fortaleza, encontra-se uma importante área verde pública conhecida como Parque Ecológico do Rio Cocó, também chamado de Parque Ecológico do Cocó ou simplesmente Parque do Cocó (Figura 89). Sob a administração do Governo Estadual, esse parque é considerado um dos ambientes naturais mais significativos do estado, e sua área foi ampliada a partir do já existente Parque Adahil Barreto. Além disso, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) o reconhece como um dos maiores parques urbanos do Brasil, com diversos ecossistemas naturais. (LIMA; GARCEZ, 2017).

O Parque do Cocó foi estabelecido em outubro de 1989 por meio do Decreto estadual nº 20.253, ocupando uma extensão de 1.046 hectares. De acordo com Lima e Garcez (2017), dentro do parque, podem ser encontradas diversas unidades geoambientais, incluindo planície litorânea, planície flúvio-marinha e superfície de tabuleiros litorâneos, que abrigam uma ampla variedade de espécies animais e vegetais. Além disso, o Parque do Cocó oferece áreas dedicadas a atividades de lazer, esportes e cultura, com recursos como um anfiteatro, quadras esportivas, trilhas para caminhadas e corridas, campos de futebol e outros equipamentos.

Figura 89 – Delimitação geográfica do Parque Estadual do Cocó

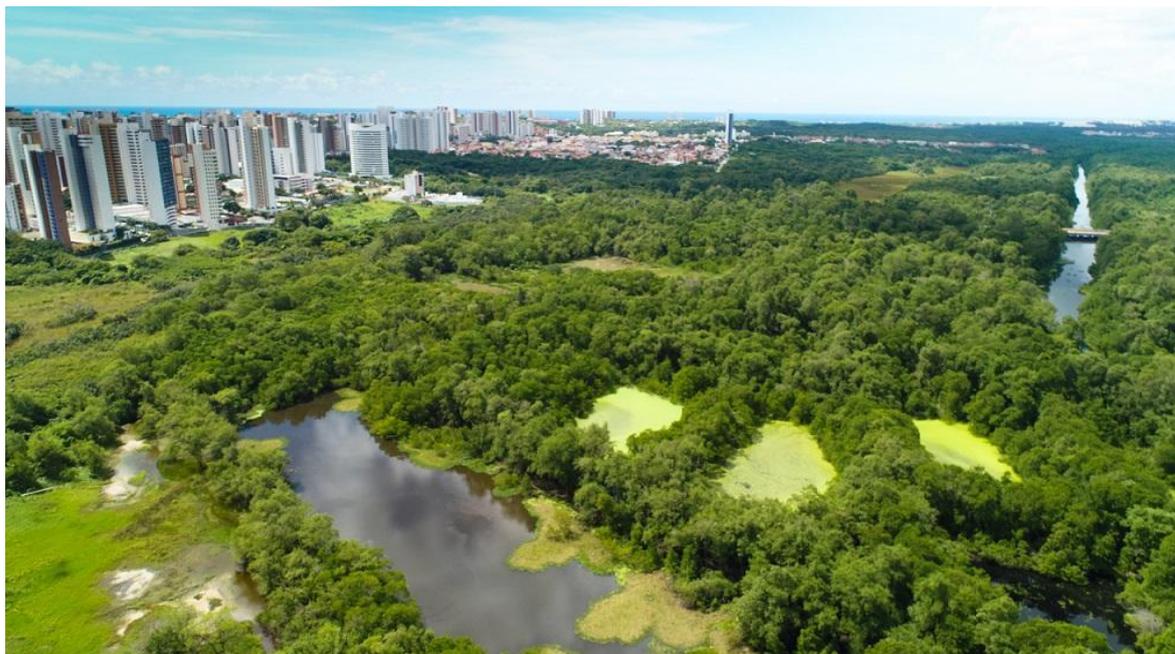


Fonte: elaborado pelo autor.

Dadas essas características e a grande importância do Parque do Cocó para o ambiente citadino de Fortaleza, foi selecionado um ponto para realização da coleta de dados de temperatura do ar representativas desse ambiente (parque urbano). Tendo em vista a grande extensão territorial do parque, as diferentes características de uso em seu entorno, e com o objetivo de verificar a importância dessa estrutura verde para o ambiente urbano, foi escolhido o trecho localizado no bairro Cocó, onde se localiza o prédio administrativo da Unidade de Conservação.

Essa área é caracterizada também pelas trilhas abertas ao público, anfiteatro para eventos culturais, aparelhos para fins de lazer entre outros, sendo alvo de visitas dos habitantes de Fortaleza. Destaca-se que, o entorno da área do parque escolhida para a coleta, é fortemente urbanizada, onde verificam-se edificações verticalizadas com prédios acima de 10 pavimentos, muito próximos à área do parque, como é possível visualizar na imagem abaixo.

Figura 90 – Visão aérea do Parque Estadual do Cocó

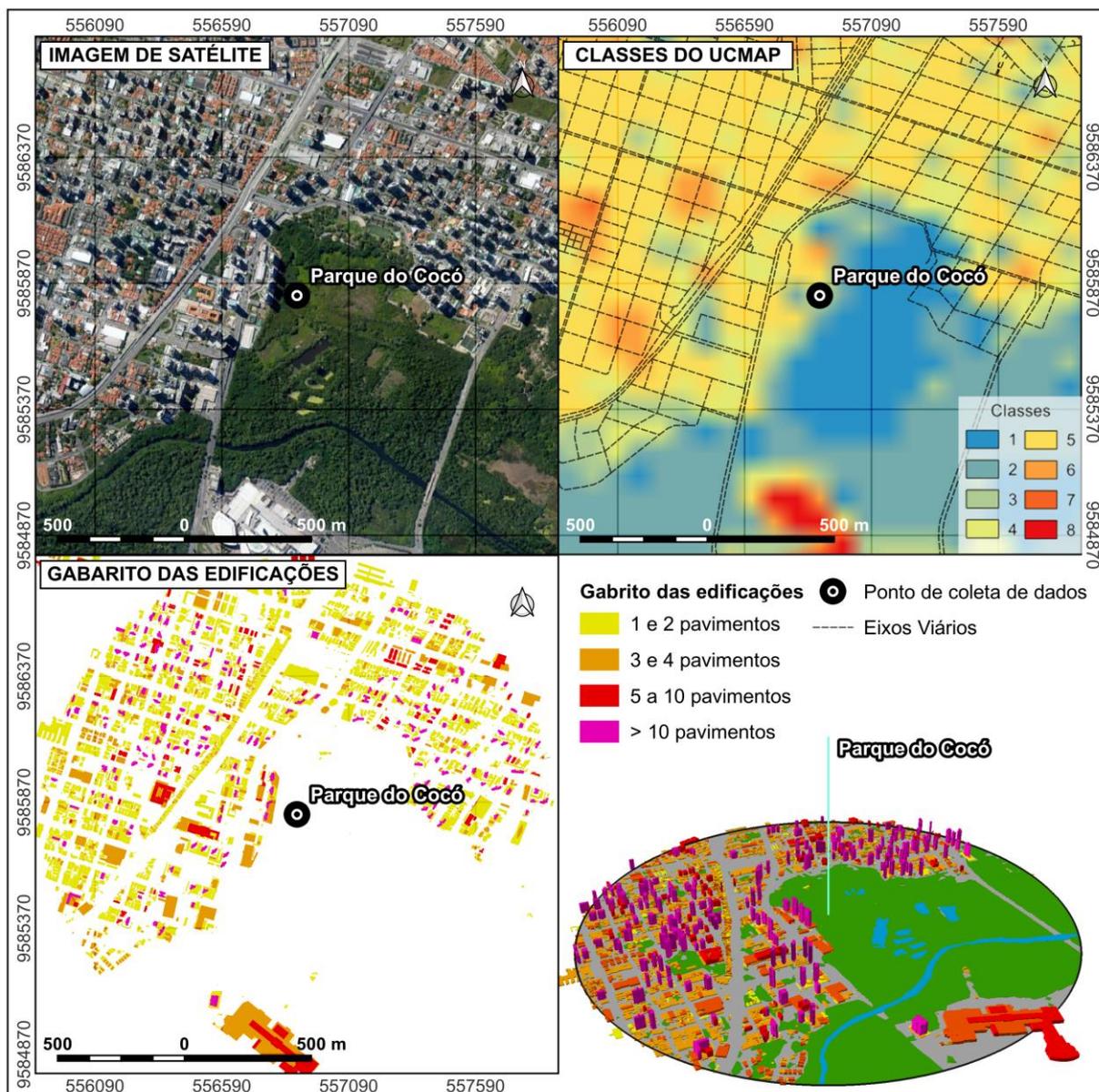


Fonte: Diário do Nordeste (2021).

O bairro Cocó, onde foi locado o equipamento de coleta de dados, localiza-se na Regional Administrativa 7. O bairro possui um total de 22.592 residentes, e densidade demográfica de cerca de 6.900 habitantes por quilometro quadrado, ocupando a 90ª posição no *ranking* dos bairros com maior densidade populacional, valor considerado médio/baixo se comparado a outros bairros da cidade. O equipamento foi instalado dentro dos limites do parque, em uma área abundante em vegetação.

No que se refere aos padrões de uso e ocupação do solo no entorno do ponto analisado, percebe-se que o entorno imediato da área do Parque, encontra-se totalmente urbanizada, com características de verticalização consolidada, composta principalmente por condomínios residenciais verticais de alto padrão, onde o material construtivo predominante é o concreto, com estruturas de aço e revestimentos cerâmicos, como é possível visualizar na imagem de satélite da Figura 91.

Figura 91 – Caracterização da área de entorno no ponto do Parque do Cocó (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

Como é possível visualizar na Figura 91, o gabarito das edificações no raio de abrangência analisado é predominantemente entre 3 e acima de 10 andares, destacando a característica de verticalização consolidada no entorno do Parque do Cocó. Esse contraste, revela o quão imponente a paisagem do Parque é, em relação ao ambiente ao qual está inserido, sendo uma importante área vegetada, não só para o bairro e regional, mas para todo o município de Fortaleza.

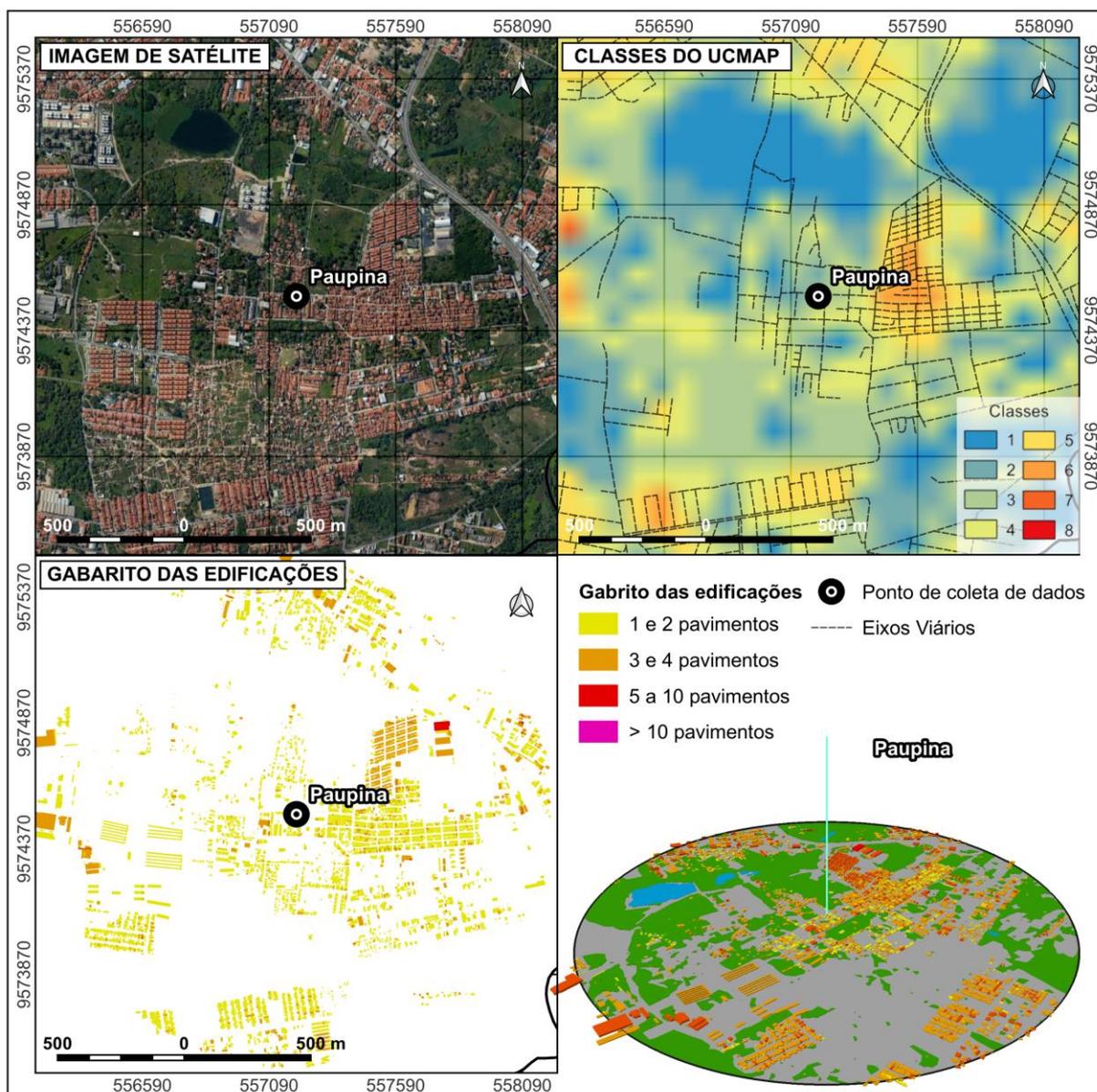
Em relação ao mapeamento climático urbano aproximado para o raio analisado, é visível que a área vegetada que compreende o Parque do Cocó representa uma parcela significativa de classes que contribuem diretamente para amenização da temperatura do ar e circulação dos ventos. A porção edificada da área de entorno do ponto de coleta é representada, majoritariamente, pela classe 5 do UCMaP, classe que representa impacto moderado no clima urbano, sendo possível verificar alguns pontos de classe 6. Nessa área de entorno verifica-se as classes 7 e 8, que possuem impactos críticos sob o clima da cidade, sendo essas classes relacionadas a um importante shopping da cidade, que apresenta um dos maiores volumes edificados identificados no mapeamento.

8.1.8 Paupina

O bairro Paupina, localiza-se no extremo sul do município de Fortaleza, e pertence a Regional Administrativa 6. O bairro é limítrofe com Eusébio, importante município da Região Metropolitana de Fortaleza. Atualmente, vivem em Paupina cerca de 16.168 habitantes, totalizando uma densidade populacional de 2.986 habitantes por quilometro quadrado, sendo o 9º bairro com menor densidade demográfica do município de Fortaleza. No decorrer dos últimos anos, o bairro foi palco da construção de diversos empreendimentos ligados ao Programa do Governo Federal, Minha Casa Minha Vida. Em decorrência da baixa densidade populacional e grande número de vazios urbanos localizados no bairro, considerado área de expansão urbana, são verificadas grandes concentrações de empreendimentos, de acordo com Pequeno (2013). Por essas características, optou-se por locar um equipamento de coleta de dados nessa área.

Na Figura 92, é possível visualizar o raio de 1 km no entorno do ponto de medição. Atualmente, a ocupação da área é predominantemente residencial, formada por condomínios de casas e prédios construídos pelo Programa Minha Casa Minha Vida. Percebe-se que, a área edificada apresenta considerável densidade horizontal, onde os lotes são quase que 100% edificados, com pouco espaçamento e recuo entre as residências vizinhas, padrão este verificado em outros bairros da cidade. O diferencial de Paupina é que, o bairro ainda possui muitos vazios urbanos, relacionados a loteamentos implantados, ou seja, que ainda serão edificados.

Figura 92 – Caracterização da área de entorno no ponto da Paupina (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

As edificações são compostas, majoritariamente, por residências de até 4 pavimentos, as quais apresentam-se bastante próximas umas das outras. É possível visualizar edificações mais elevadas em alguns pontos da área, compreendendo prédios pequenos de até 5 andares. O padrão construtivo visualizado na área é basicamente composto por construções de alvenaria e cobertura cerâmica. Nesse bairro há um diferencial quando comparado aos outros analisados, a pavimentação asfáltica é verificada, no entanto, existem diversas vias compostas por pedras e chão batido, com pouca estrutura viária implementada.

Quando analisadas as classes do UCMAP verificados no raio de 1 km no

entorno do ponto, percebe-se, nas áreas de vazios urbanos onde há presença de arborização, estão as classes referentes ao alto potencial dinâmico (1 e 2), contribuindo para amenização climática e circulação dos ventos. Outras classes importantes verificadas são as classes 5 e 6, que contribuem moderadamente e moderadamente forte para o incremento da temperatura do ar nessa região, relacionadas principalmente a elevada densidade horizontal das edificações.

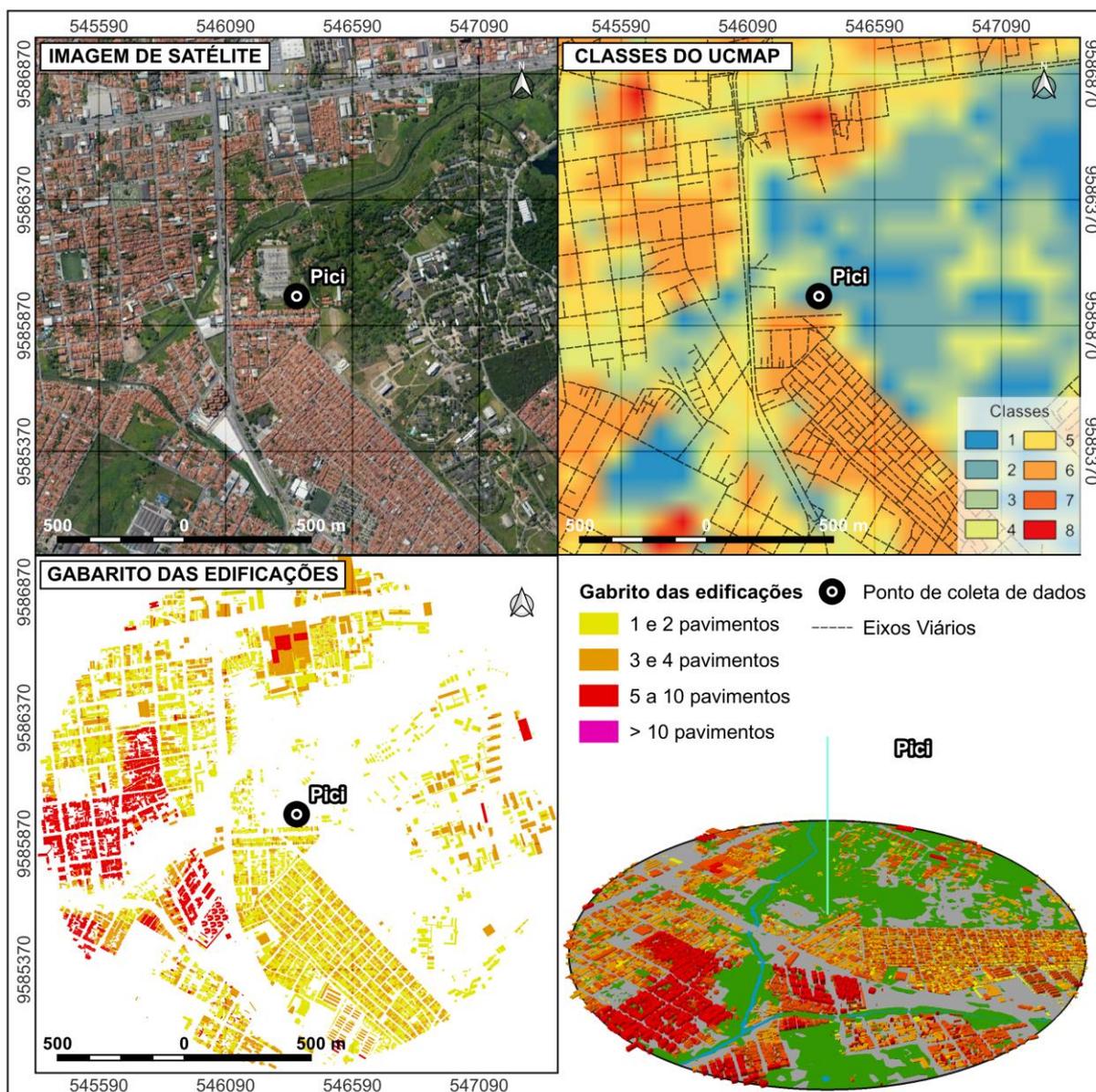
8.1.9 Pici

O Pici é um bairro que se localiza na Regional Administrativa 11, na porção mais a oeste do município de Fortaleza. O bairro é conhecido por situar o Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, o qual ocupa uma área considerada do bairro, e é considerado uma importante área arborizada da cidade. O bairro possui um total de 46.845 residentes, o que caracteriza uma densidade populacional de 12.525 habitantes por km², densidade considerada média, em relação aos outros bairros da cidade. O bairro ocupa a posição 55 no *ranking* de maiores densidades demográficas do município.

Outro importante aspecto a se considerar é que, boa parte do bairro, está inserido na área de uma ZEIS (Zona Especial de Interesse Social) do tipo ocupação, possuindo cerca de 7 mil domicílios e um total de 23.383 habitantes, metade da população total do bairro. A ZEIS do Pici está localizada em setores de aglomerados subnormais, onde as ocupações irregulares começaram no início na década de 1960 (FREITAS; LIMA, 2012).

Na Figura 93 é possível visualizar o padrão de uso e ocupação do solo no raio de 1 km no entorno do ponto de coleta de dados. Essa área é caracterizada pela elevada densidade de edificações, apresentando padrão construtivo de alvenaria e cobertura cerâmica, vias estreitas e com pavimentação asfáltica, lotes 100% construídos e casas geminadas, sem recuos e espaçamentos entre lotes, o que contribui para um alto volume edificado, devido ao desenvolvimento horizontal das construções. No que se refere ao gabarito das edificações, este é considerado baixo em sua maioria, onde grande parte das edificações são de até 4 pavimentos, com exceção de pontos com edificações acima de 5 andares.

Figura 93 – Caracterização da área de entorno no ponto do Pici (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

Outra porção significativa da área está inserida no Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará, considerada importante área arborizada do município. Essa porção do território, associada às drenagens constituem as classes 1 e 2 do mapeamento climático urbano, que representam impacto moderado para o arrefecimento da atmosfera urbana e contribui para a circulação do vento. Enquanto as classes 5, 6, 7 e 8, estão associadas às áreas mais adensadas, principalmente àquelas relacionadas aos aglomerados subnormais, com ocupação irregular, lotes totalmente construídos e vias estreitas.

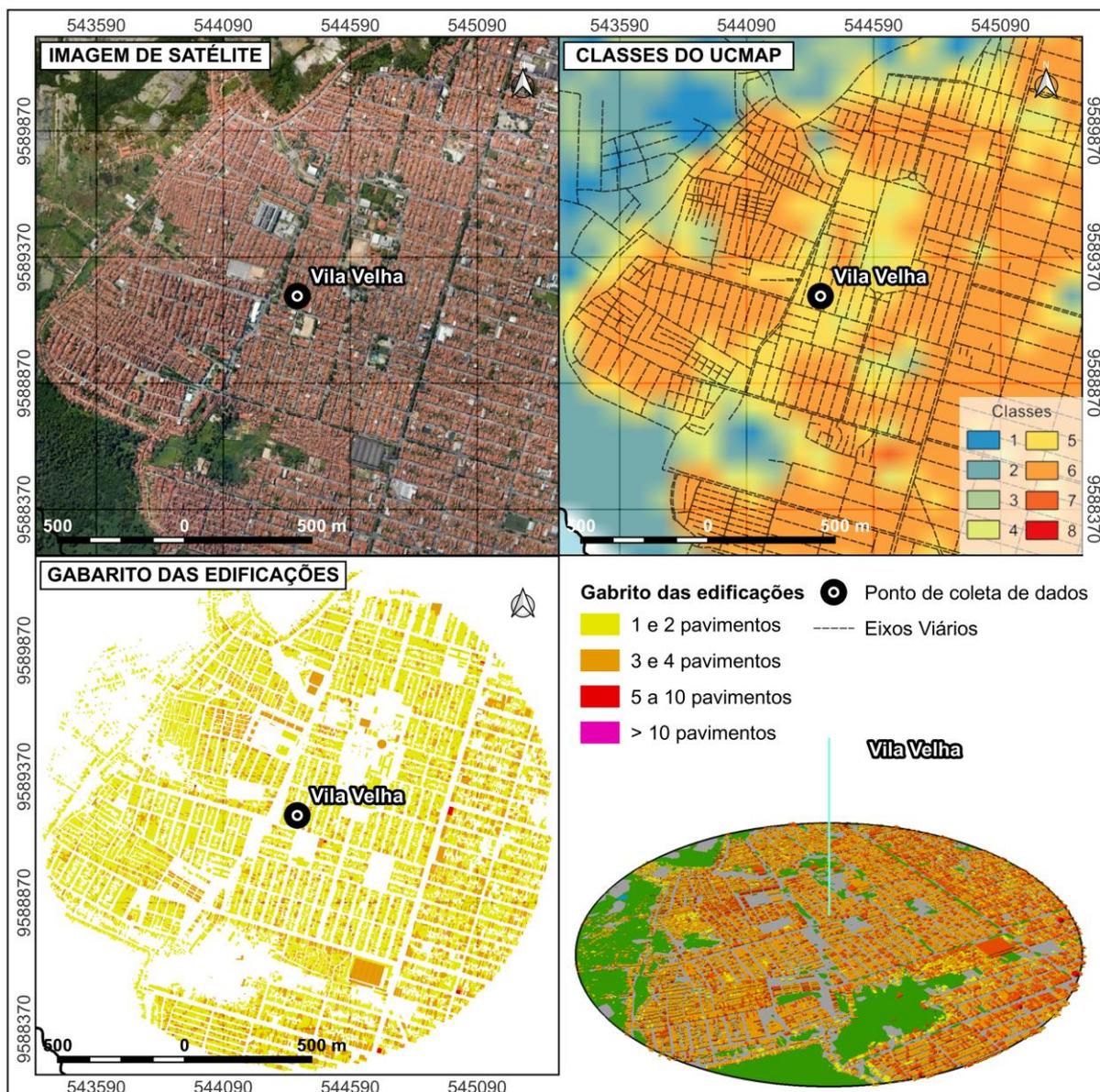
8.1.10 Vila Velha

O bairro Vila Velha, localiza-se na Regional Administrativa I, no extremo noroeste do município de Fortaleza. De acordo com Barbosa (2009), o bairro Vila Velha é considerado uma extensão do bairro Barra do Ceará, que possui uma importância histórica que remonta às origens da ocupação colonial da área. Às margens do Rio Ceará, foi construído o primeiro forte cearense, conhecido como "Fortim de São Tiago", durante a chegada de Pero Coelho e Sousa ao Ceará.

Atualmente, o bairro é constituído por diversos conjuntos habitacionais, que apresentam diferentes características entre si. O bairro conta, atualmente, com um total de 67.932 residentes, com densidade demográfica de 9.502 habitantes por quilometro quadrado, densidade considerada média em relação aos outros bairros da cidade. Por esses motivos, o bairro foi escolhido para local um dos equipamentos de coleta de dados de temperatura do ar. Na imagem a seguir, é possível visualizar o equipamento instalado no ponto referente ao bairro Vila Velha.

Em relação ao uso e ocupação do solo no raio de 1 km no entorno do ponto de coleta de dados, percebe-se que, a maior parcela da região apresenta ocupação residencial, onde as construções são majoritariamente de alvenaria e a cobertura é composta por revestimentos cerâmicos. As vias possuem pavimentação asfáltica, e com exceção das avenidas principais são majoritariamente estreitas, onde por muitas vezes só é possível transitar um veículos por vez, não tendo encostamento ou espaço destinado para estacionamento. Na porção mais ao leste do raio de abrangência, verifica-se a área arborizada relacionada a Área de Proteção Ambiental do Rio Ceará (Figura 94).

Figura 94 – Caracterização da área de entorno no ponto do Vila Velha (raio de 1 km)



Fonte: elaborado pelo autor.

No que se refere ao volume edificado no raio de entorno do ponto de coleta de dados, observa-se que como descrito anteriormente, o padrão de ocupação desta localidade é residencial, composto principalmente por conjuntos habitacionais antigos. Essas habitações são compostas por prédios de baixo gabarito, de no máximo 4 andares, onde as residências são geminadas e sem espaçamentos entres os lotes. As construções ocupam quase que a totalidade dos lotes, sendo raros os casos onde há recuo (para qualquer lado). As calçadas são praticamente inexistentes, onde são verificados espaços estreitos para trânsito de pedestres, ou muitas vezes sua inexistência.

Essas características refletem diretamente no resultado do UCMaP aproximado para a área, onde há o domínio das classes 1 e 2 (potencial dinâmico e circulação dos ventos) na região da APA do Rio Ceará, que apresenta-se como o local mais arborizado do entorno do ponto de coleta. As classes 6 e 7, que correspondem aos potenciais de aquecimento moderado e moderadamente forte, estão presentes em toda área edificada da região, resultado do alto volume de edificações, devido ao adensamento horizontal das residências e o pouco espaço viário.

8.2 Análise do campo térmico da cidade de Fortaleza

A partir dos dados de temperatura do ar coletados nos pontos citados anteriormente, foram realizadas análises espaciais e estatísticas, através de elementos gráficos e mapas de espacialização. Com o objetivo de compreender o comportamento do campo térmico da cidade de Fortaleza, as análises foram realizadas a partir do mês de coleta.

Os dados foram coletados com um intervalo de 10 minutos, ininterruptamente durante os meses analisados. Como descrito na seção 4.1, a cidade de Fortaleza apresenta pouca variabilidade interanual e intra anual em relação a temperatura do ar, devido suas características geográficas. Por esse motivo, a sazonalidade climática que caracteriza o clima da cidade de Fortaleza está relacionada à precipitação pluviométrica, que apresenta uma maior variabilidade intra anual. Os outros elementos climáticos estão diretamente relacionados aos sistemas sinóticos causadores de instabilidade ou estabilidade para o tempo. Visando abarcar essas diferentes condições atmosféricas, optou-se por realizar a coleta de dados nos períodos seco e chuvoso, assim compreendendo o comportamento do campo térmico em escala local a partir da resposta aos fenômenos de escala regional.

Para tal, optou-se por realizar as coletas referentes ao período seco durante os meses de novembro e dezembro, enquanto o mês de janeiro apresenta acréscimo no volume de precipitação (pré-estação chuvosa), e os meses de fevereiro e março são os meses representativos da quadra chuvosa, período onde os volumes pluviométricos são maiores. Nas seções a seguir, serão apresentados os resultados obtidos a partir da coleta de dados de temperatura do ar para cada mês

analisado.

8.2.1 Novembro de 2021

Historicamente, a partir da análise da série histórica, o mês de novembro apresenta as menores médias de precipitação acumulada entre os meses do ano para a cidade de Fortaleza. De 1966 ao ano de 2019 a média de precipitação pluviométrica acumulada para o mês de novembro foi de 10,5 milímetros. No ano de 2021 não houve registro de chuva significativa para o mês de novembro.

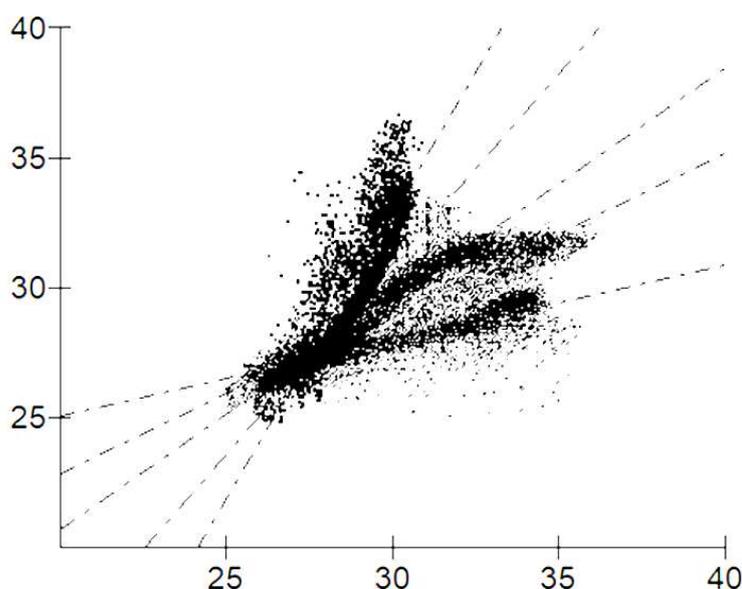
Nesse período, a cidade de Fortaleza está sob o domínio da Massa Equatorial Atlântica (mEa), originada pelo Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul (ASAS), causador de estabilidade para o tempo, principalmente no norte do nordeste brasileiro. Com condições de estabilidade, de acordo com as discussões realizadas no capítulo 2, as características do clima local são intensificadas, fazendo com que as condições de uso e ocupação solo, os fatores geográficos e o tempo contribuam com maior intensidade para o comportamento do campo térmico da cidade.

Os dados de temperatura do ar de todos os pontos foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, com o objetivo de determinar a presença e a intensidade de uma relação linear entre os dados de temperatura do ar de todos os pontos de coleta de dados. A análise foi realizada utilizando o método da correlação de Pearson, conforme descrito por Spiegel (1972), levando em consideração as variáveis dos pontos de coleta de dados de temperatura do ar (X e Y) e o número de observações (n). O coeficiente de correlação de Pearson (r), mede a direção e a força dessa relação, variando entre -1 e 1. O valor de -1 indica uma correlação negativa perfeita, ou seja, quando uma variável aumenta, a outra diminui de forma consistente. Um valor de 1 indica uma correlação positiva perfeita, indicando que ambas as variáveis aumentam ou diminuem juntas de maneira consistente. Um coeficiente de correlação próximo de zero indica uma relação fraca ou inexistente entre as variáveis. A estatística foi executada através do software BioEstat 5.3. A equação utilizada para esse cálculo é a seguinte:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}}$$

Foram estabelecidas as correlações entre todos os pares de pontos de coleta de dados, resultando no valor de r (coeficiente de correlação de Pearson) para cada par. O menor valor de r verificado entre os pares estabelecidos foi de 0.8433, entre os pontos de Meireles e Paupina, enquanto o maior valor de correlação foi de 0.9842, entre os pontos de Messejana e Pici. Vale salientar que, todos os pares apresentaram valor de r maior que 0.84, e a média de todos os valores encontrados foi de 0.9387, indicando uma correlação positiva forte entre as variáveis analisadas, sendo o maior valor de coeficiente de correlação entre os meses analisados.

Figura 95 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (novembro)



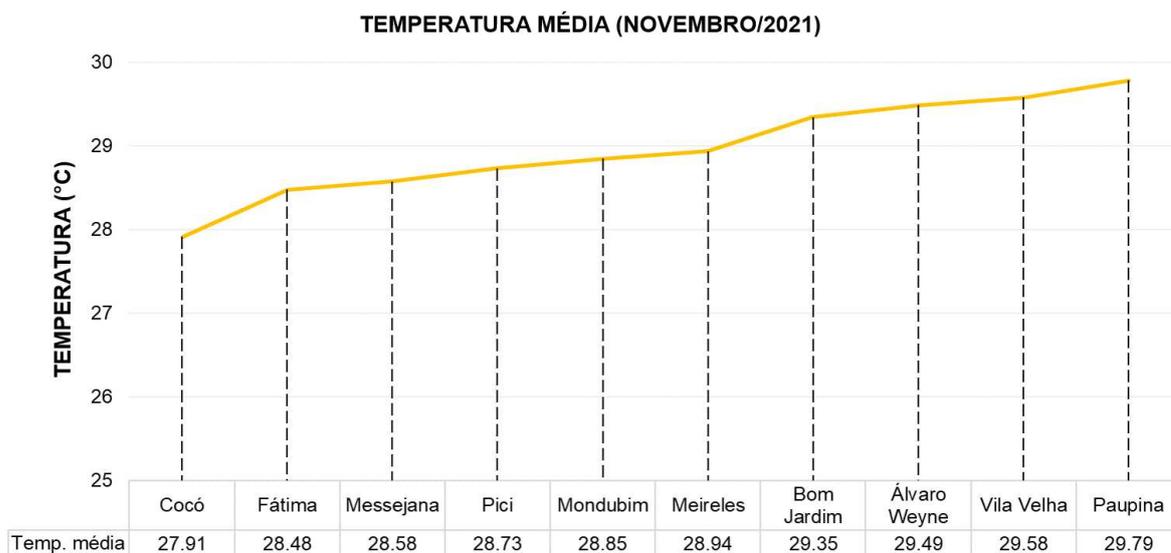
Fonte: elaborado pelo autor.

O gráfico a seguir (Figura 96), representa a análise da temperatura média mensal registrada nos diferentes pontos de coleta de dados referentes ao mês de novembro. Pode-se observar que o ponto de coleta de dados situado no Parque do Cocó apresenta a temperatura média mensal mais baixa, com uma média de 27,91°C. Isso sugere que essa região tende a ser um pouco mais amena em relação aos outros pontos analisados. Por outro lado, a localidade de Paupina se destaca com a temperatura média mensal mais elevada, atingindo uma média de 29,79°C.

A amplitude dos dados de temperatura média mensal verificados no gráfico é de 1,88°C. Isso indica a diferença entre a temperatura média mensal mais

alta e a temperatura média mensal mais baixa entre os pontos analisados. Essa amplitude é um indicativo da variação de temperatura existente nas diferentes localidades mencionadas.

Figura 96 – Gráfico da temperatura média do mês de novembro para os diferentes pontos de coleta de dados.



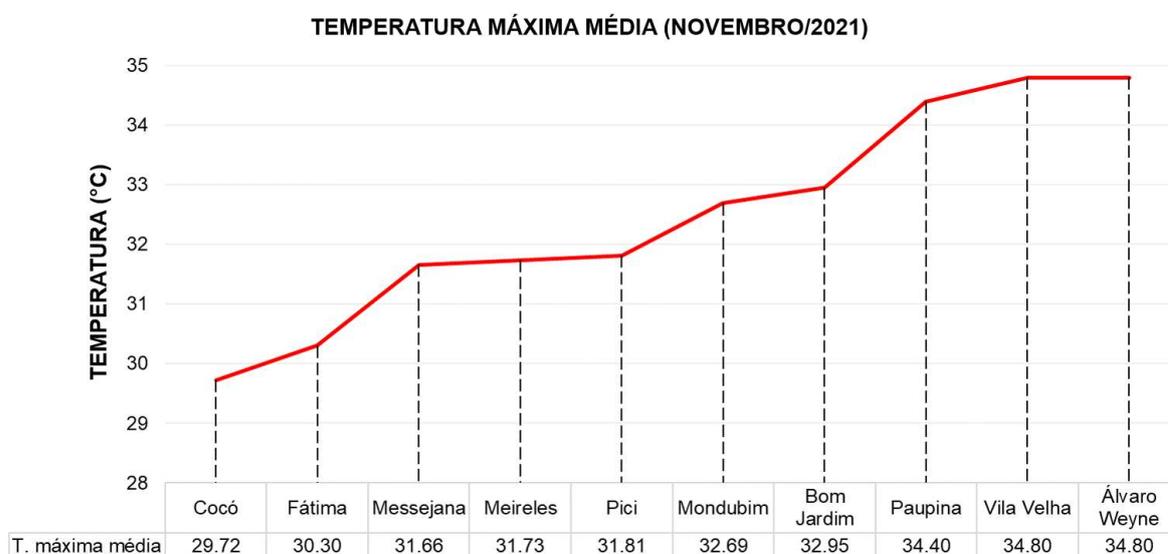
Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação as temperaturas máximas médias do mês de novembro de 2021 (Figura 97), é possível visualizar que mais uma vez a temperatura máxima média mensal mais baixa registrada foi no Parque do Cocó, com um valor médio de 29,72°C. Os pontos do Bairro de Fátima e Messejana têm temperaturas máximas médias próximas, com valores de 30,30°C e 31,66°C, respectivamente. Esses locais apresentam temperaturas máximas ligeiramente mais altas em relação a Cocó, mas ainda abaixo de outros pontos subsequentes.

A partir do Pici, observa-se um aumento na temperatura máxima média mensal, atingindo 31,81°C. Mondubim registrou uma média mensal de 32,69°C, seguido por Meireles com 31,73°C e Bom Jardim com 32,95°C. O ponto da Paupina, que obteve a maior temperatura média mensal, registrou 34,40°C de temperatura máxima média para o mês de novembro, o 3º maior valor registrado. O ponto Álvaro Weyne e Vila Velha apresentaram a mesma temperatura máxima média mensal, com um valor de 34,80°C. Isso indica que essas regiões compartilham condições climáticas semelhantes, com temperaturas máximas

significativamente mais elevadas em comparação com os pontos anteriores. A amplitude da temperatura máxima média é de 5,08°C. Isso significa que existe uma diferença de 5,08 graus Celsius entre a temperatura máxima média mais alta e a temperatura máxima média mais baixa.

Figura 97 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de novembro para os diferentes pontos de coleta de dados.



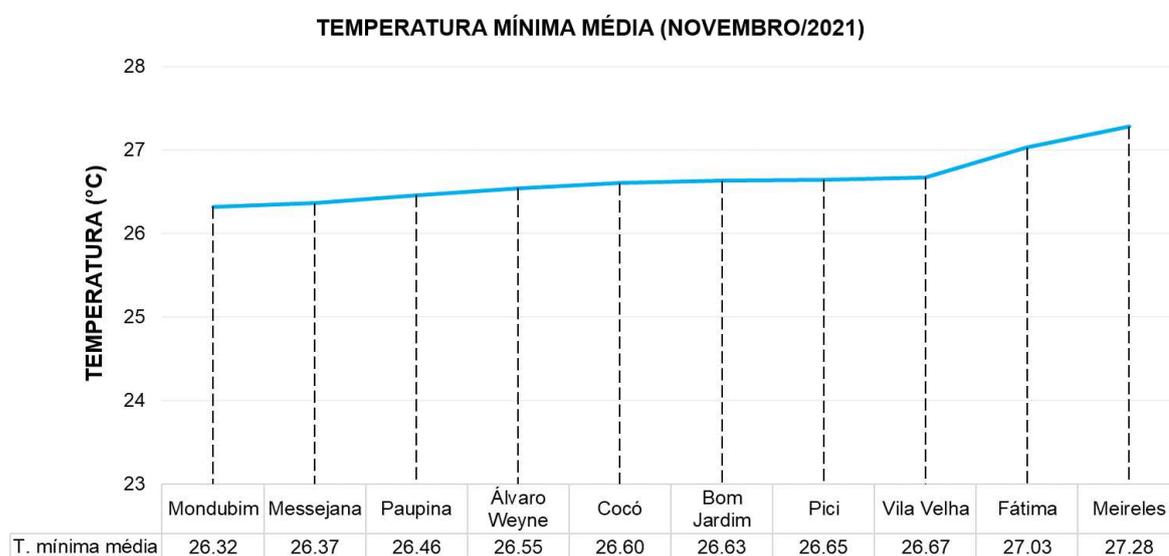
Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação ao gráfico de temperatura mínima média (Figura 98), dentre os pontos analisados, o situado no bairro Meireles apresenta o maior valor, com 27,28°C, seguido pelo bairro de Fátima, com temperatura mínima média de 27,03°C. Os bairros Meireles e Fátima, apresentaram médias mensais de temperatura mínima elevadas, sendo os bairros (com exceção do Cocó) que apresentam os maiores índices de verticalização, sendo o Meireles o que possui verticalização consolidada.

Mondubim e Messejana apresentam as temperaturas mínimas médias mais amenas no mês de novembro, 26,32°C e 26,37 respectivamente. Esses bairros apresentam características semelhantes em relação ao uso e ocupação do solo, onde a característica majoritariamente residencial e a presença de espaços abertos fazem com que haja semelhança nesta variável. A Paupina apresenta uma característica muito particular, em relação aos outros bairros analisados, sendo a 3ª maior temperatura máxima média e a 3ª menor temperatura mínima média.

Os outros bairros apresentam temperaturas mínimas mensais muito semelhantes, com pouca diferença entre os valores. A amplitude desta variável também se apresenta baixa, pois a diferença dos valores extremos (Meireles e Mondubim) não chega a 1°C, demonstrando maior homogeneidade na série em relação aos valores mínimos aferidos pelos equipamentos de coleta de dados, fazendo um contraponto com as médias das máximas que apresentam alta amplitude.

Figura 98 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de novembro para os diferentes pontos de coleta de dados.



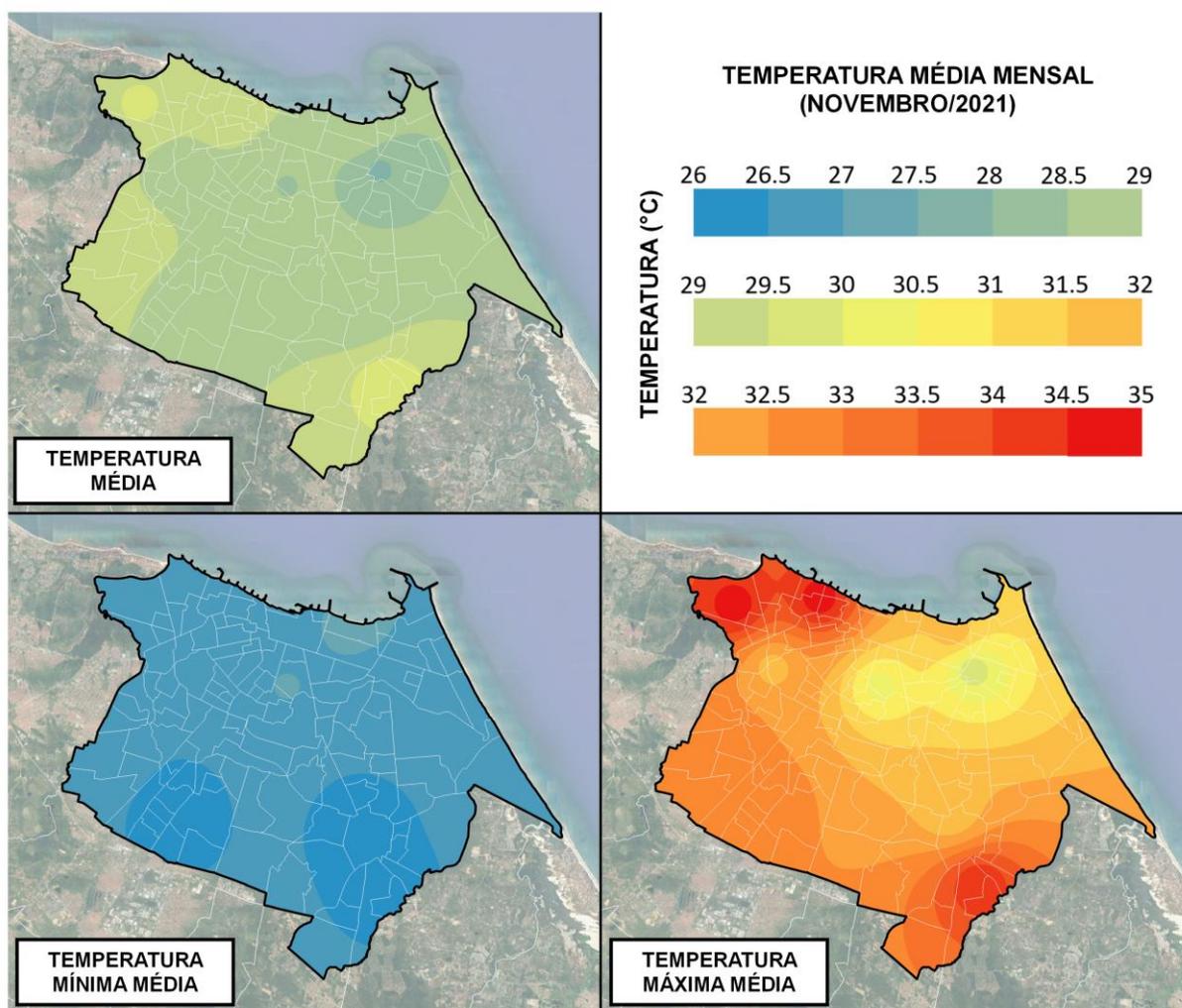
Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados de temperatura média mensal, máxima média mensal e mínima média mensal foram espacializados através do método IDW no *software* SIG QGIS 3.30. A Figura 99 mostra o resultado da espacialização, com o objetivo de visualizar as áreas da cidade e os padrões médios estabelecidos para o mês de novembro. Em relação à temperatura média do mês de novembro, nota-se que a região no entorno do Parque do Cocó apresenta-se como a área mais amena do município, apesar de estar localizada em uma região adensada e com verticalização eminente, demonstrando a importância dessa estrutura verde para a amenização dos efeitos climáticos negativos para o município de Fortaleza.

As temperaturas médias mais elevadas concentram-se na região periférica da cidade à oeste e sudeste do município. Na porção oeste do município

encontram-se bairros com características de alto adensamento horizontal por edificações, que apesar do baixo gabarito, não possuem espaçamento entre os lotes e grande quantidade de residências, gerando um alto volume edificado para atender a demanda da população residente, já que também é uma área com grande densidade demográfica, principalmente na Regional Administrativa 1, que situa dois bairros com registros térmicos elevados.

Figura 99 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de novembro de 2021



Fonte: elaborado pelo autor.

A temperatura mínima média da cidade de Fortaleza apresenta-se muito homogênea, com pouca diferença entre os pontos extremos. É perceptível que o ponto situado no bairro Meireles possui uma temperatura mínima média mais elevada que os outros pontos de coleta de dados, sendo possível explicar esse comportamento através da análise detalhada das médias horárias. Acompanhando o

comportamento espacial demonstrado pelo mapeamento da temperatura média mensal, pode-se perceber que, a temperatura máxima média é mais elevada na periferia da cidade de Fortaleza, onde se concentra as manchas mais avermelhadas, principalmente na Regional Administrativa 1 e no extremo sudeste município de Fortaleza, limítrofe com o município de Eusébio.

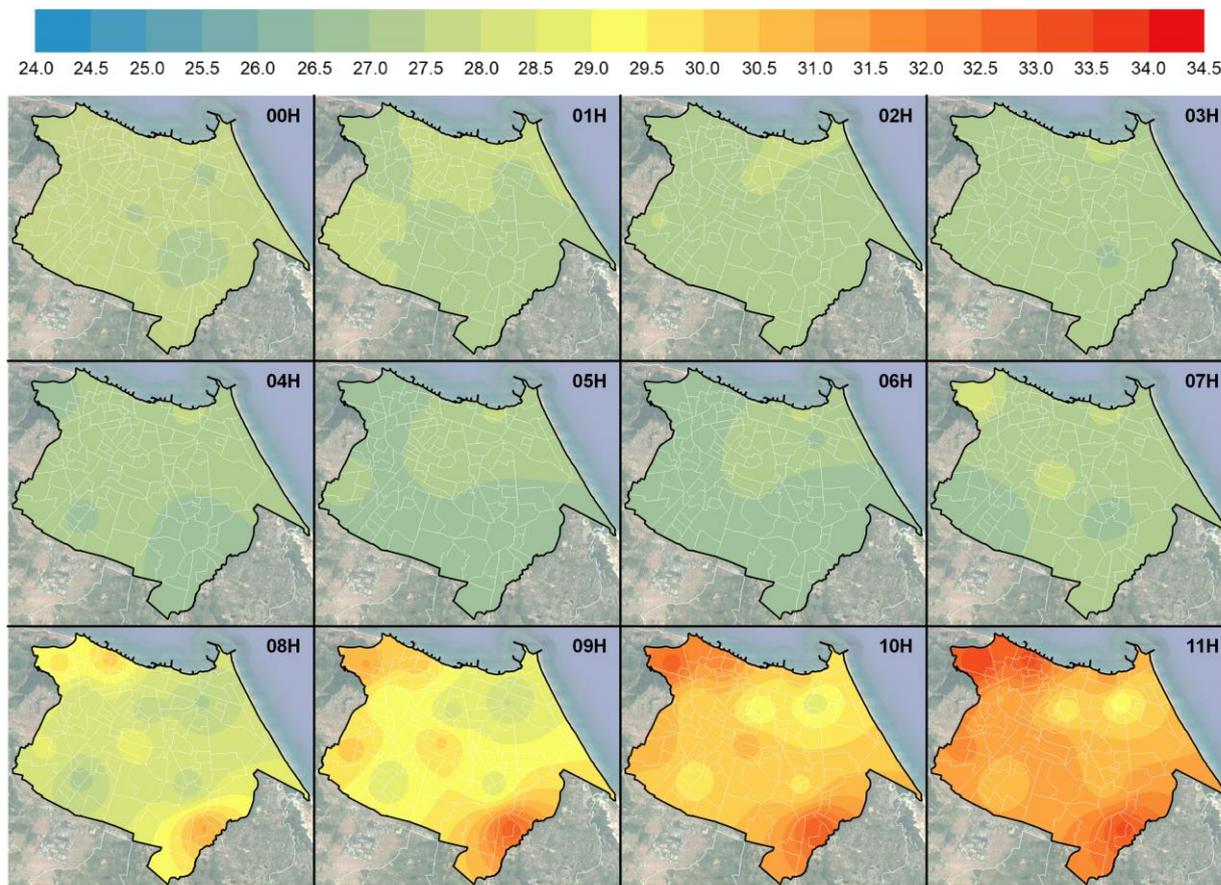
Para compreender a dinâmica do campo térmico do município de Fortaleza, foi necessário analisar além das médias mensais. As Figuras 100 e 101 foram resultado da espacialização das médias horárias para o mês de novembro. Elas são fundamentais para entender a complexidade e especificidades do comportamento da temperatura do ar nas diferentes regiões do município de Fortaleza, assim como os períodos de maior e menor estresse térmico, tendo em vista as características geográficas e urbanas da cidade.

Para melhor visualização a espacialização das médias horárias para o mês de novembro foram divididas em duas figuras. A Figura 100 apresenta as médias horárias de 00h às 11h. É possível perceber que até às 5h, a temperatura do ar no município apresenta-se de maneira mais uniforme, com pouca diferença entre os pontos mais quentes e mais frescos. A tendência aparente é que no decorrer das horas essa amplitude vá se intensificando, sendo de 0,79°C às 00h e de 1,00°C às 05h. Nesse período específico, o ponto de coleta de dados que apresentou a maior temperatura do ar foi o do Meireles, seguido por Bairro de Fátima, Bom Jardim e Álvaro Weyne, enquanto Messejana, Mondubim, Paupina e Parque do Cocó apresentam temperaturas mais amenas.

A partir das 6h, as diferenças entre as menores e maiores médias começam a se intensificar, alcançando amplitudes acima de 1°C. No decorrer da manhã, as diferenças térmicas alcançam valores acima de 4°C. Os bairros que apresentaram as temperaturas mais elevadas durante esse período do dia foram Vila Velha, Álvaro Weyne e Paupina, onde as médias horárias para o período de 11h chegaram acima de 33°C nos pontos supracitados. Os pontos de coleta que apresentaram menores médias pra esses horários foram o do Parque do Cocó, Bairro de Fátima, Mondubim e Messejana. Às 11h o Parque do Cocó apresentou a menor temperatura média para esse horário, de 29,12°C.

Figura 100 – Médias horárias de temperatura do mês de novembro (00h – 11h)

Temperatura do ar (°C)



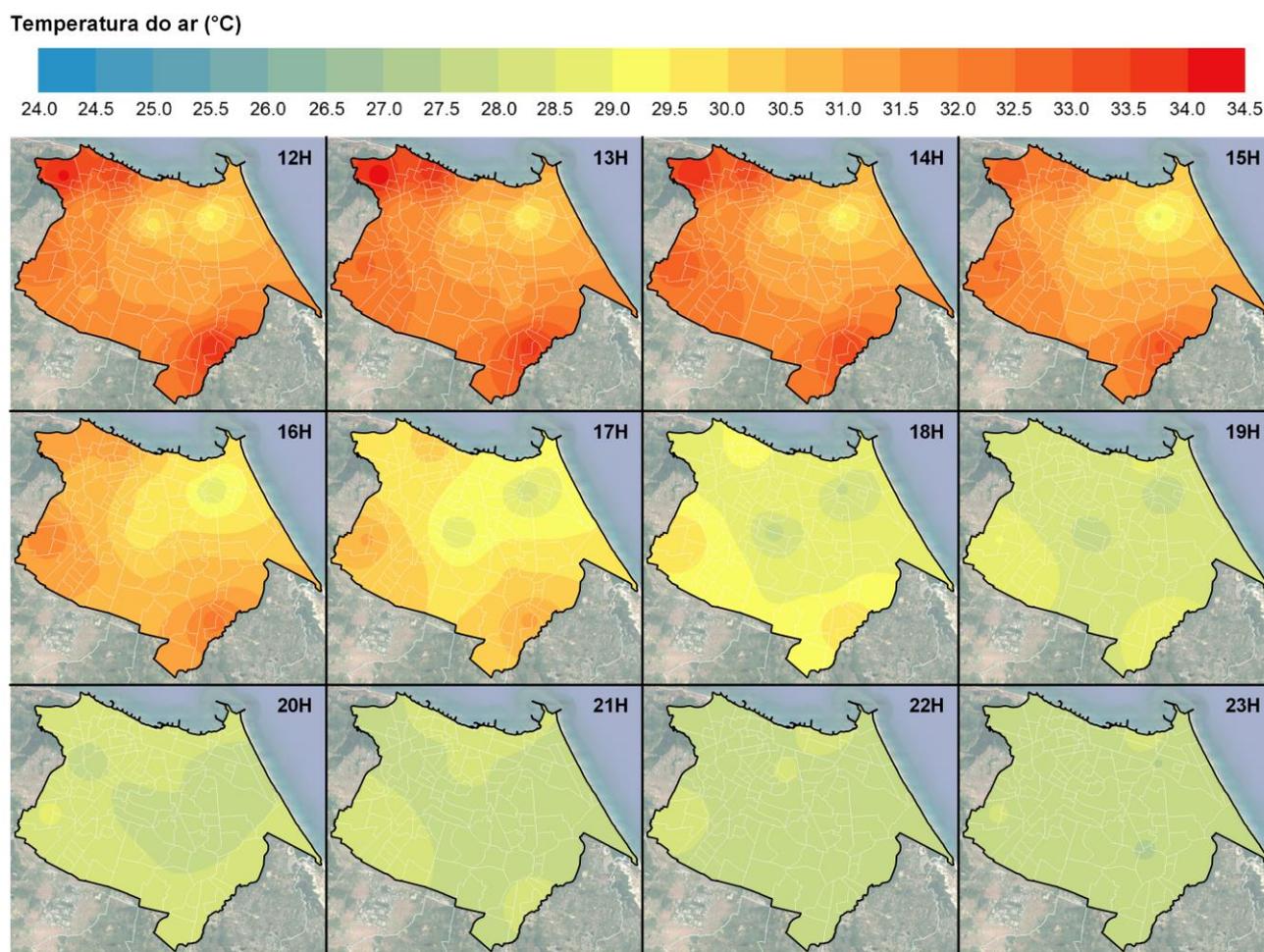
Fonte: elaborado pelo autor.

A média horária de 13h foi a que apresentou maior intensidade da amplitude térmica entre todos os horários, onde o bairro Vila Velha registrou média horária de 34,25°C e o Parque do Cocó obteve média de 29,53°C para o mesmo horário, constituindo uma diferença térmica de 4,72°C. Essa intensidade vai diminuindo no decorrer do dia, sendo que, até as 17h, os bairros Vila Velha, Álvaro Weyne e Paupina constituem aqueles que apresentam as maiores médias, enquanto Parque do Cocó e Bairro de Fátima são os pontos que apresentam temperaturas mais amenas no período vespertino.

A partir das 18h, inicia-se um declínio significativo da temperatura média horária, onde é apresentado comportamento semelhante ao da madrugada, com um certo grau de homogeneidade dos valores de temperatura do ar. O ponto que apresentou as menores temperaturas durante essa faixa do dia foi o Parque do Cocó, enquanto Meireles e Bom Jardim foram os que registraram as maiores temperaturas médias nesse período do dia. Vale destacar que no período noturno as

diferenças térmicas não são tão significativas, alcançando menos de 1°C a partir das 20h. Dentre todos os horários analisados, vale ressaltar que, o Parque do Cocó esteve sempre figurando entre os pontos de menor temperatura do ar, apesar de estar cercado de prédios elevados e condições de uso e ocupação do solo que contribuem para o sobreaquecimento da atmosfera.

Figura 101 – Médias horárias de temperatura do mês de novembro (12h – 23h)



Fonte: elaborado pelo autor.

Tendo em vista as informações apresentadas, entende-se que durante a noite e madrugada, os bairros mais verticalizados apresentaram as maiores temperaturas médias, como foi o caso do Meireles e Bairro de Fátima, pois a configuração urbana característica desses bairros, como o elevado gabarito das edificações e o material construtivo predominante, contribuem diretamente para o armazenamento do calor produzido durante o dia, mesmo que a intensidade das diferenças térmicas sejam muito baixas. O Parque do Cocó, apesar de ser uma área

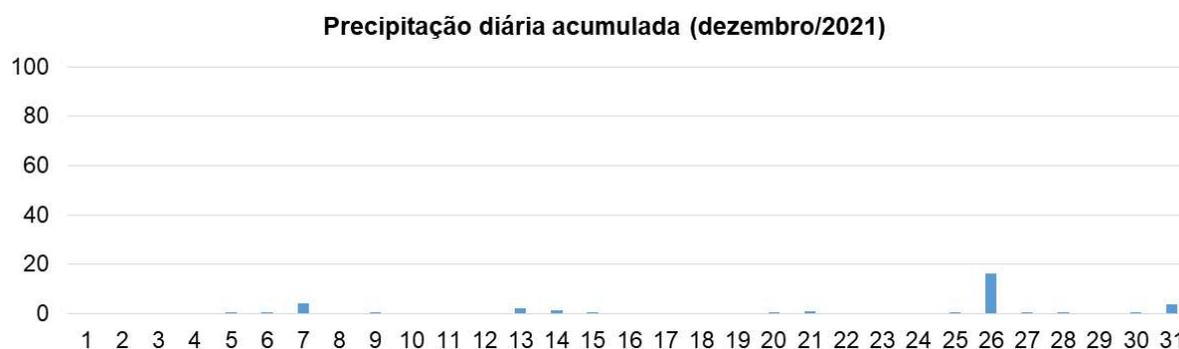
cercada por um ambiente altamente urbanizado e verticalizado, foi o que apresentou temperaturas mais amenas, e em nenhum momento figurou entre as localidades com maior temperatura, demonstrando a importância dessa estrutura verde para amenização climática local.

No mês de novembro, as maiores amplitudes térmicas ocorreram no período da tarde, onde bairros como Vila Velha, Álvaro Weyne e Paupina alcançaram temperaturas muito elevadas, em comparação com o posto mais fresco da cidade, o Parque do Cocó. Esses bairros são majoritariamente residenciais, onde aqueles localizados na Regional 1, apresentam alta densidade populacional e construtiva, contribuindo para o sobreaquecimento da atmosfera local.

8.2.2 Dezembro de 2021

No mês de dezembro de 2021, a mEa continuou atuando com intensidade sobre o município de Fortaleza, causando estabilidade para o tempo durante o período analisado, onde foram registrados apenas 31,4 milímetros de precipitação (Figura 102). O volume de chuva registrado no mês de dezembro é considerado abaixo da média histórica para o mês, que é de 37 milímetros. Causada por instabilidades tropicais, a precipitação durante o mês foi pouco significativa, portanto, as condições de estabilidade causadas pela mEa, intensificaram os efeitos dos elementos locais no comportamento dos microclimas analisados.

Figura 102 – Acumulado de precipitação diária para o mês de dezembro de 2021

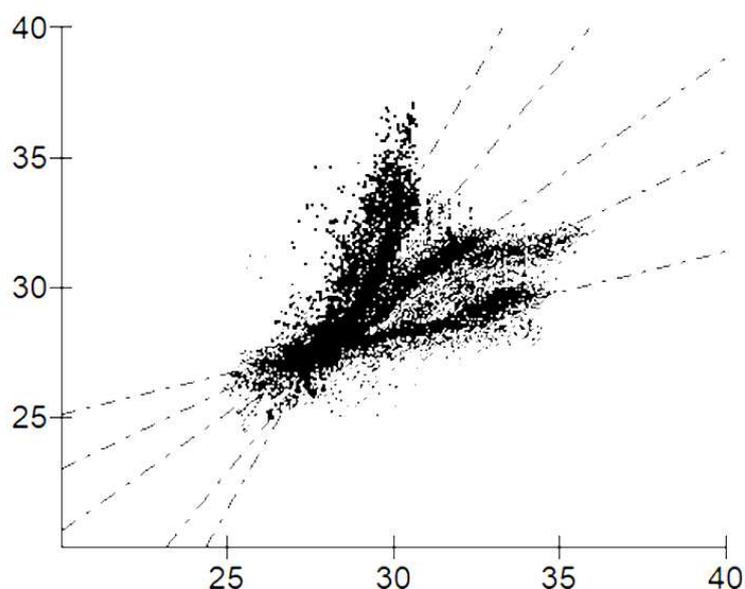


Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado do teste de correlação de Pearson para o mês de dezembro (Figura 103), revela que há uma forte relação entre todos os pontos de coleta de

dados, onde o tempo cronológico contribuiu de maneira significativa para a variação da temperatura no decorrer das horas e dos dias desse mês. O resultado médio do coeficiente de correlação para todas as combinações de pares foi de 0.9243, abaixo do verificado no mês de novembro de 2021. O maior coeficiente de r verificado foi entre os pontos de Messejana e Pici, assim como no mês de novembro, obtendo coeficiente de 0.9816, enquanto o menor coeficiente de correlação foi de 0.8559, entre os bairros de Álvaro Weyne e Mondubim. O declínio do valor de r em relação ao mês anterior se dá pelo aumento da precipitação acumulada, que influencia diretamente no comportamento do campo térmico.

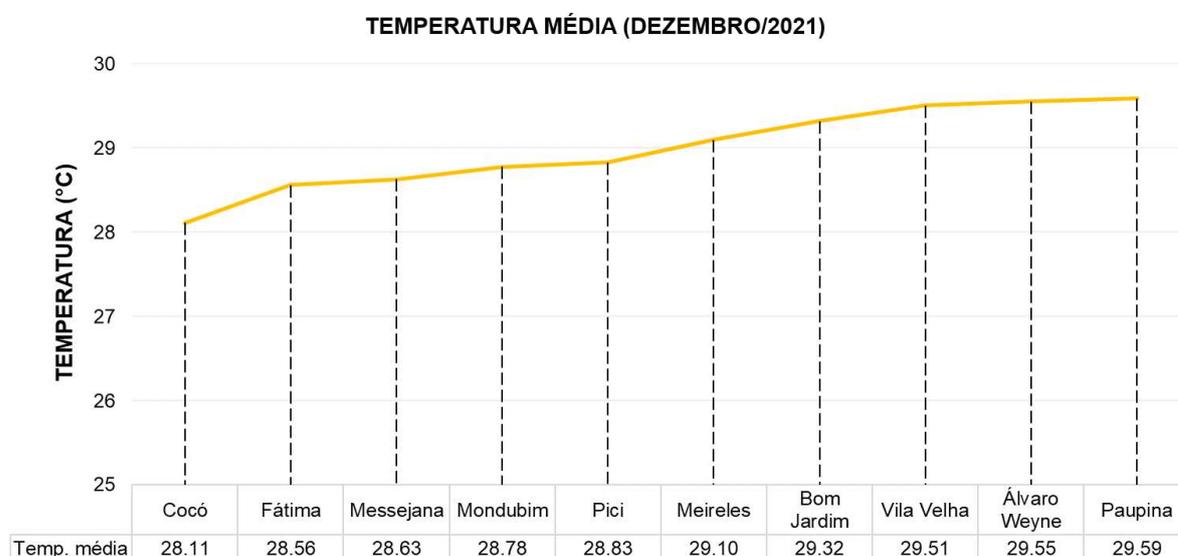
Figura 103 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (dezembro)



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico da Figura 104 é possível observar as médias mensais de temperatura do ar para os diferentes pontos de coleta de dados. No mês de dezembro de 2021, o Parque do Cocó, o Bairro de Fátima e Messejana foram os pontos que registraram as menores temperaturas médias mensais, com 28,11°C, 28,56°C e 28,63°C respectivamente. As menores temperaturas médias registradas para esse mês apresentaram-se superiores em relação ao mês de novembro.

Figura 104 – Gráfico da temperatura média do mês de dezembro para os diferentes pontos de coleta de dados.

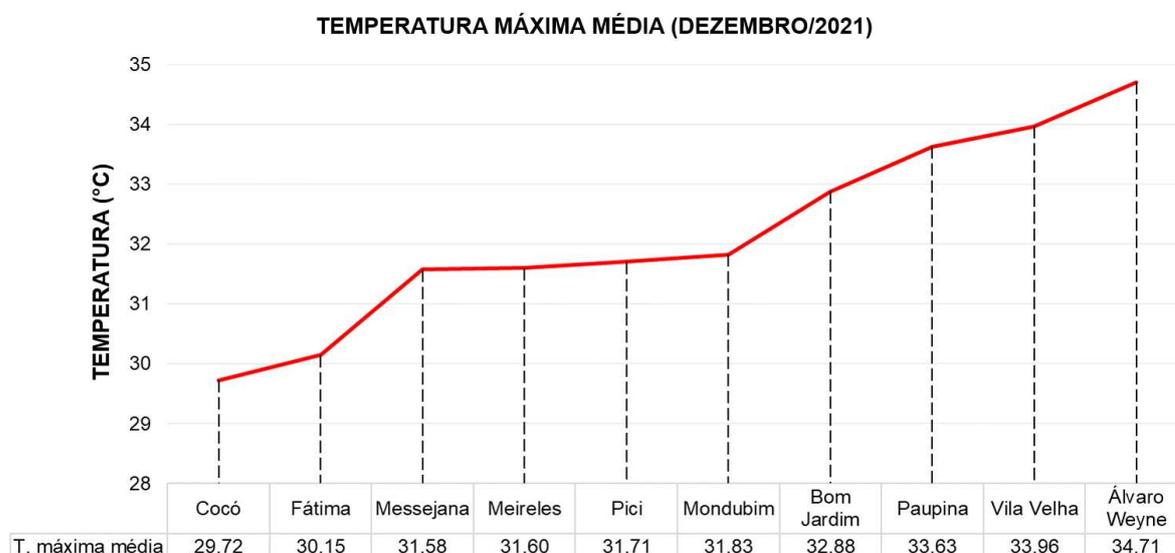


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os bairros Paupina, Álvaro Weyne, Vila Velha, Bom Jardim e Meireles registraram temperaturas médias acima de 29°C, comportamento semelhante ao verificado no mês de novembro de 2021. A diferença entre as temperaturas médias dos pontos mais quentes e mais amenos para o mês de dezembro, foi de 1,48°C, valor abaixo do registrado no mês anterior.

A Figura 105 apresenta as médias mensais de temperatura para os pontos de coleta de dados no mês de dezembro de 2021. A partir da interpretação dos dados, percebe-se que o Parque do Cocó registra uma temperatura máxima média de 29.72°C. Isso indica que essa região tende a ter temperaturas máximas mais amenas em relação aos outros pontos listados. Em seguida, Fátima apresenta uma ligeira elevação, com uma temperatura máxima média de 30.15°C. Observa-se um aumento notável nas temperaturas máximas médias a partir deste ponto, onde os valores são maiores que 31°C. Messejana registra uma temperatura máxima média de 31.58°C, seguida de perto por Meireles, com 31.60°C. Esses valores indicam uma elevação significativa em relação aos pontos anteriores.

Figura 105 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de dezembro para os diferentes pontos de coleta de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

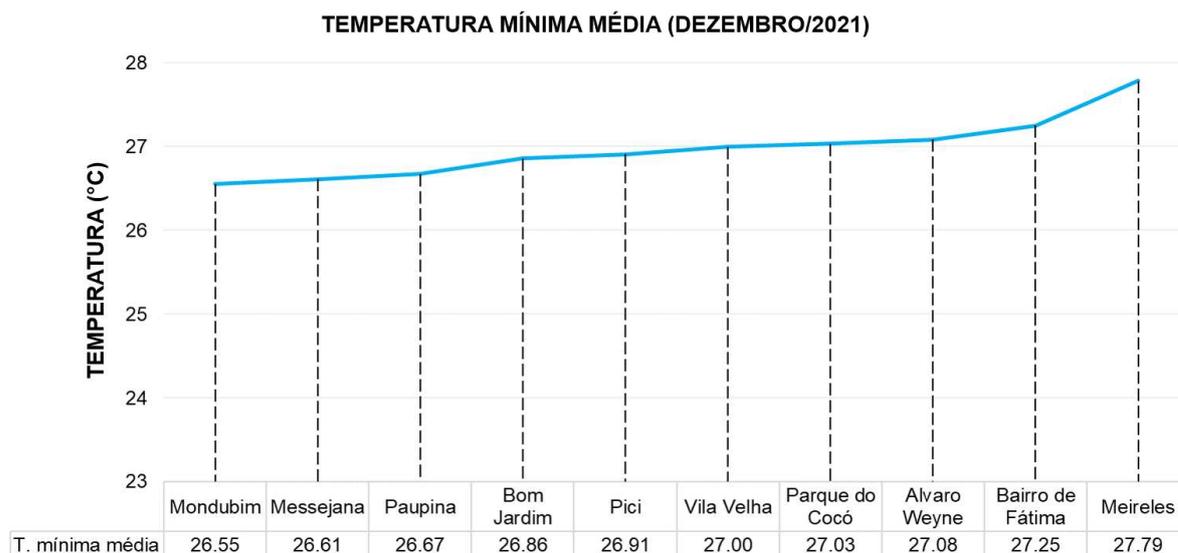
Bom Jardim registra uma temperatura máxima média de 32,88°C, seguido por Paupina, com 33,63°C. Em seguida, Vila Velha apresenta uma temperatura máxima média de 33,96°C, enquanto Álvaro Weyne registra a temperatura máxima média mais alta entre os pontos listados, com 34,71°C. Os pontos dos bairros Álvaro Weyne, Vila Velha e Paupina, reincidentem como os bairros que apresentam as maiores máximas médias, em relação ao mês de novembro. A diferença entre os pontos com maiores e menores máximas médias também diminuiu, registrando 4,99°C entre o Parque do Cocó e o bairro Álvaro Weyne.

A tabela a seguir (Figura 106) apresenta os dados de temperatura mínima média mensal dos pontos de coleta de dados referente ao mês de dezembro de 2021. A análise desses dados permite compreender as variações nas temperaturas mínimas médias entre os diferentes pontos. Como ponto de menor temperatura mínima média mensal, encontra-se o Mondubim, com uma temperatura de 26,55°C. Esse bairro demonstra ser um dos mais amenos em termos de temperaturas mínimas para esse mês, coincidindo com o mês anterior, onde o bairro também apresentou o menor valor. Em seguida, Messejana apresenta uma temperatura mínima média de 26,61°C, mantendo-se em linha com a suavidade do clima observada no Mondubim.

À medida que avançamos na tabela, podemos observar um aumento

gradual nas temperaturas mínimas médias. Paupina registra um valor de 26.67°C, indicando um leve aumento em relação a Messejana. Bom Jardim apresenta uma temperatura mínima média de 26.86°C, seguido por Pici, que registra 26.91°C.

Figura 106 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de dezembro para os diferentes pontos de coleta de dados.

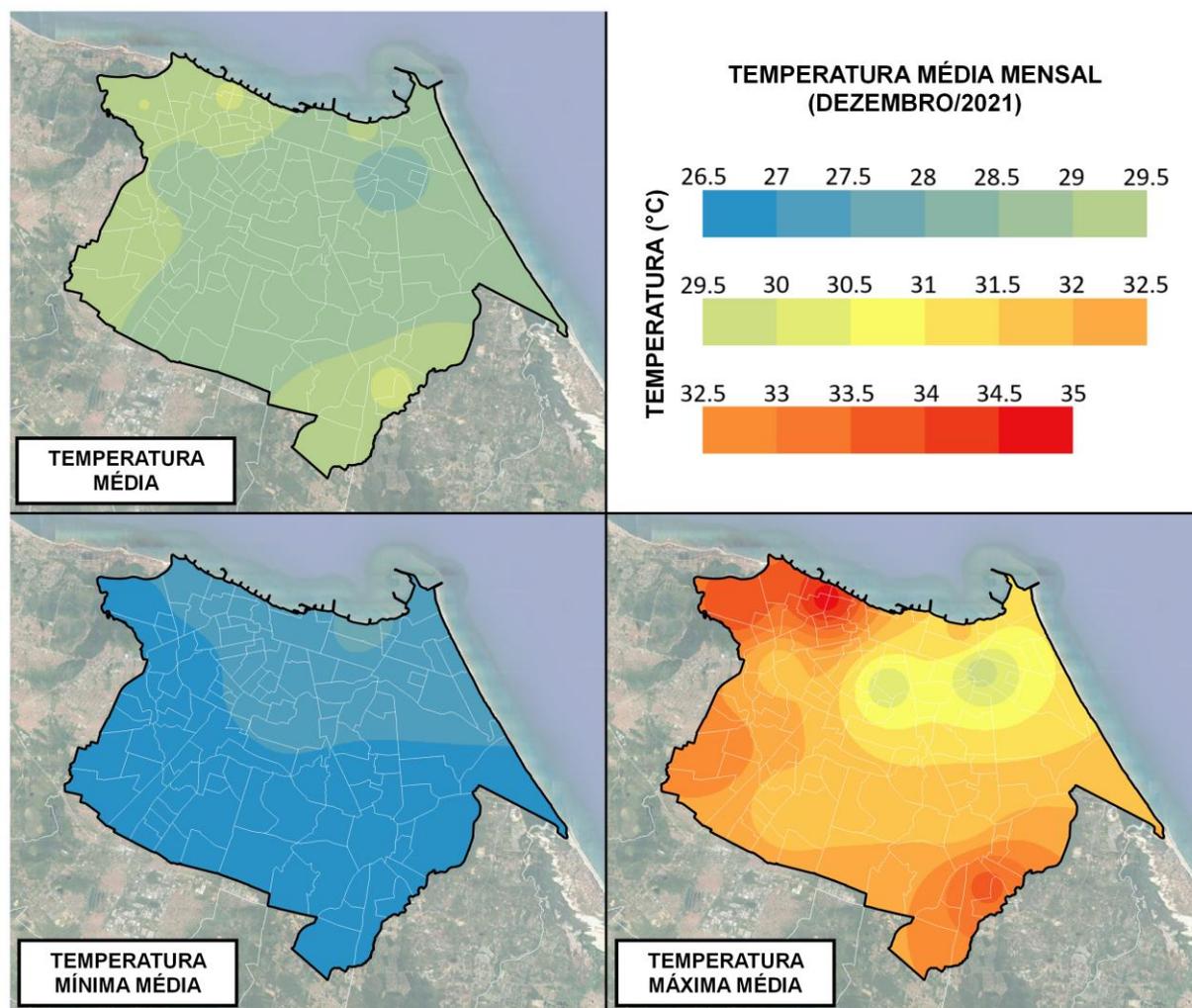


Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se um aumento mais significativo nas temperaturas mínimas médias no bairro Álvaro Weyne, que registra uma temperatura mínima média de 27.08°C, seguido por Fátima, com 27.25°C. O bairro Meireles apresenta a temperatura mínima média mais alta entre os pontos de coleta de dados, com 27.79°C, sendo que, os bairros de Fátima e Meireles também registraram os maiores valores referentes a essa variável no mês anterior. De contraponto à temperatura média e máxima média mensal, a diferença entre os pontos com menores e maiores registros de temperatura mínima média aumentou em relação ao mês de novembro, registrando diferença de 1,24°C entre o ponto do Mondubim e Meireles.

Os dados descritos anteriormente foram espacializados através de geoprocessamento, onde é possível realizar uma análise espacial da distribuição dos padrões térmicos estabelecidos na cidade de Fortaleza, como é possível identificar através da Figura 107.

Figura 107 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de dezembro de 2021



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa de temperatura média mensal de dezembro de 2021 apresenta padrões bem semelhantes ao mapa do mês anterior, onde, a região da periferia do município de Fortaleza registra os maiores valores médios mensais, principalmente nos bairros que correspondem a Regional Administrativa 1, no extremo oeste da cidade de Fortaleza. O setor sudoeste e setor sudeste do município também apresentam temperaturas médias mais elevadas, em relação aos outros bairros de Fortaleza. A região do Parque do Cocó, onde foi instalado o equipamento de coleta de dados, é a que registra os menores valores de temperatura média dentre os outros pontos, principalmente pelas características da vegetação.

Mais uma vez, a região mais verticalizada da cidade apresentou a temperatura mínima média mais elevada, principalmente na porção norte da cidade, onde se encontra o bairro Meireles. É importante destacar que a pequena diferença

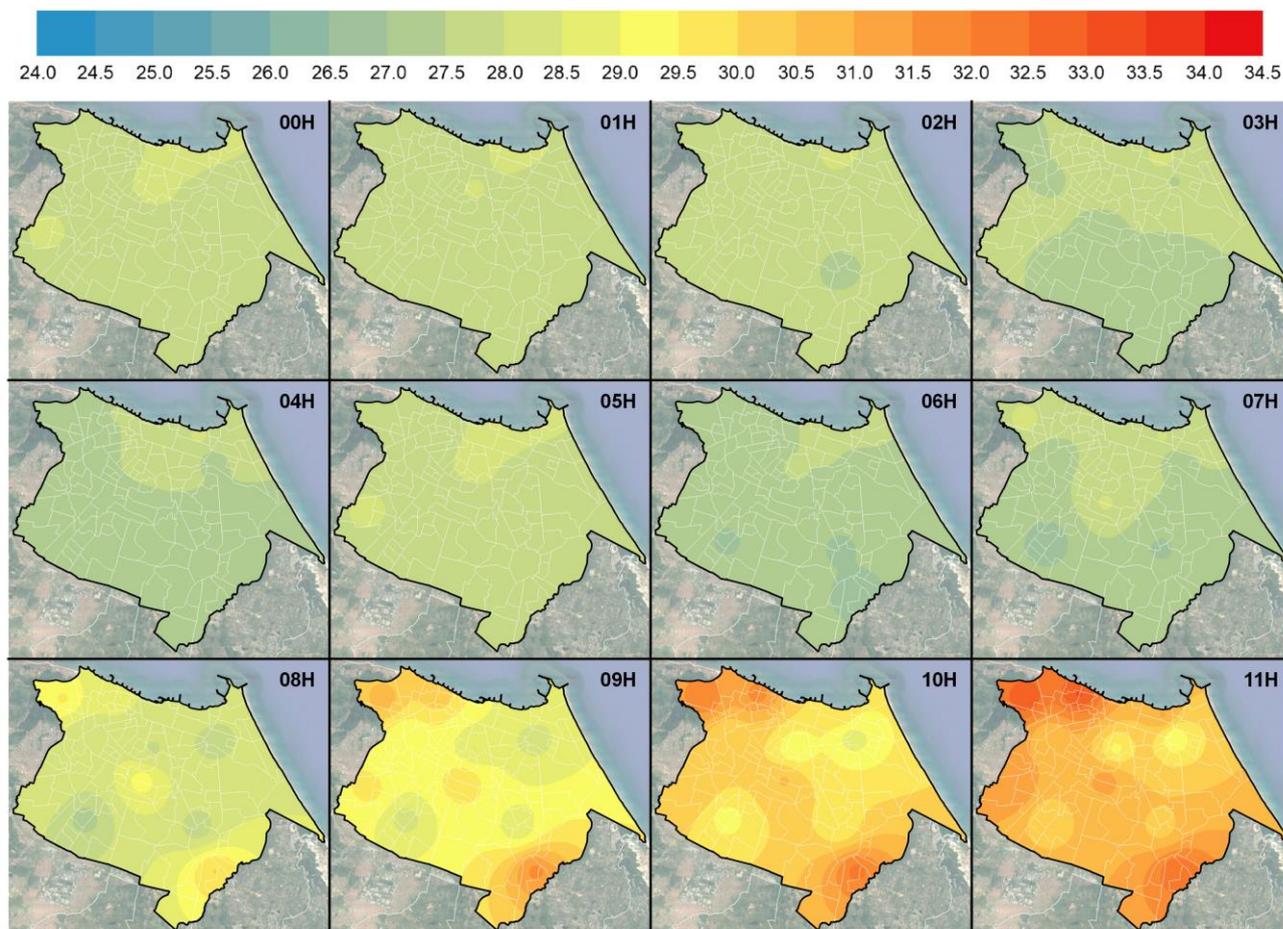
das temperaturas mínimas médias dos pontos analisados, constituem uma situação de homogeneidade espacial dessa variável. Em relação à temperatura máxima média do mês de dezembro, é perceptível um comportamento espacial similar ao mês anteriormente analisado, tendo em vista que os bairros que compõe a Regional Administrativa 1 e o extremo sudeste do município registraram as maiores temperaturas mínimas médias. Já a região do Bairro de Fátima e Parque do Cocó marcaram as menores temperaturas máximas.

Para compreender as médias mensais, é necessário decompor e analisar os dados, ao nível de média horária. As Figuras 108 e 109 correspondem ao mapeamento da temperatura média horária para o mês de dezembro de 2021. Das 00h às 05h, as diferenças térmicas são de menos de 1°C entre os pontos mais frescos para essa faixa horária e os mais quentes. As menores médias horárias para esse período foram registradas na região da Messejana e Paupina, e também na Vila Velha, enquanto os maiores registros ocorreram no bairro Meireles, Bairro de Fátima, Bom Jardim e Álvaro Weyne. É importante ressaltar que nesse horário a amplitude dessas diferenças térmicas são pequenas.

A partir das 06h, com a incidência direta da radiação solar, as temperaturas começam a subir no decorrer das horas, aumentando exponencialmente e intensificando as diferenças térmicas entre as regiões da cidade. As 06h, a amplitude entre a área mais quente e fresca da cidade foi de 1,08°C, elevando a 3,93°C durante o horário de 11h. Nessa faixa horária, nos arredores de Vila Velha e Paupina, é possível visualizar as maiores temperaturas médias, enquanto Parque do Cocó, Mondubim e Bairro de Fátima apresentaram temperaturas médias mais amenas.

Figura 108 – Médias horárias de temperatura do mês de dezembro de 2021 (00h – 11h)

Temperatura do ar (°C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

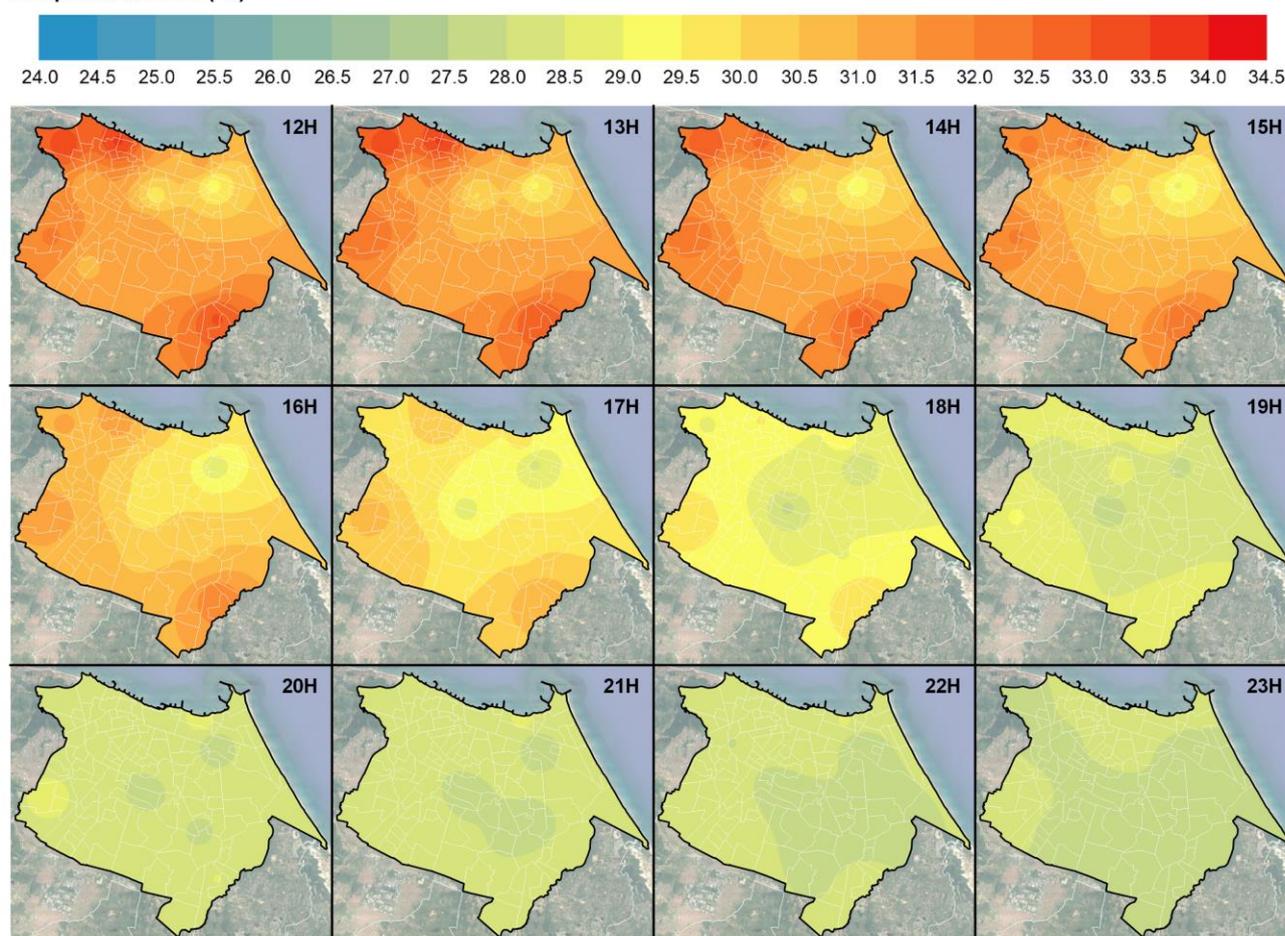
Após às 12h, as diferenças térmicas no município de Fortaleza se intensificam, apresentando valores acima de 4°C. A maior diferença térmica encontrada no mês de dezembro, a partir dos valores médios horários, foi ao meio dia, onde a amplitude chegou a registrar 4,23°C entre o bairro Álvaro Weyne e Vila Velha (setor noroeste da cidade) e o Parque do Cocó (área vegetada). No decorrer das horas, devido às condições de estabilidade para o tempo provocada pela mEa, a tendência é que a intensidade das diferenças térmicas diminua, sendo de 4,09°C, 3,66°C, 3,40°C, 3,24°C e 5,53°C, nos horários de 13h, 14h, 15h, 16h e 17h respectivamente, onde as mesmas regiões representam os pontos mais quentes e mais frescos.

Depois das 17h, a intensidade das diferenças térmicas diminuem para valores inferiores a 2°C, chegando abaixo de 1°C após às 20h. No período noturno

ocorre o mesmo padrão verificado no mês de novembro, onde os bairros Meireles e de Fátima apresentam as maiores temperaturas médias para essa faixa de horário, enquanto o Parque do Cocó e a região da Grande Messejana registram temperaturas médias horárias mais amenas, em comparação com os outros bairros da cidade, mesmo que a diferença seja muito pequena.

Figura 109 – Médias horárias de temperatura do mês de dezembro de 2021 (12h – 23h)

Temperatura do ar (°C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na análise dos mapas referentes ao mês de dezembro de 2021, é possível perceber similaridade com os resultados obtidos para o mês de outubro desse mesmo ano, onde a região periférica do município corresponde às áreas de maior temperatura da cidade, mesmo que em menor intensidade. Álvaro Weyne, Vila Velha, Bom Jardim e Paupina representam os pontos de maior temperatura, refletindo na região geográfica a qual estão inseridos, tendo em vista o

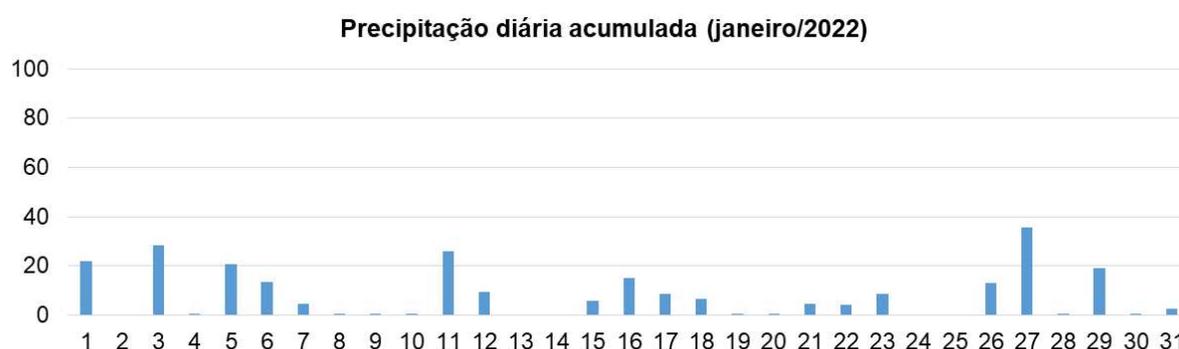
caráter contínuo dessa variável e principalmente as similaridades no uso e ocupação do solo desses locais, especificamente. No horário correspondente a noite/madrugada a região com maior verticalização apresenta temperaturas mais elevadas, mesmo que com baixa intensidade, onde por muitas vezes o Meireles apareceu como o ponto de coleta de dados mais quente durante esse período.

A similaridade dos padrões térmicos verificados nos meses de novembro e dezembro se dá pela condição atmosférica predominante nesse período. A mEa provando estabilidade para o tempo, intensificou a resposta do campo térmico às condições geográficas e urbanas locais, fazendo com que houvesse um padrão térmico espacial e temporal para o período seco.

8.2.3 Janeiro de 2022

Como descrito no capítulo 4 desta pesquisa, a média de precipitação para o mês de janeiro é de cerca 140 milímetros, configurando o período conhecido na região como pré-estação chuvosa. Em 2022, no mês de janeiro, foi registrado na cidade de Fortaleza um acumulado de 250,6 milímetros de precipitação, valor 87% mais elevado que a média para esse período. Como é possível visualizar no gráfico da Figura 110, houveram 26 de precipitação no mês de janeiro de 2022.

Figura 110 – Acumulado de precipitação diária para o mês de janeiro de 2022

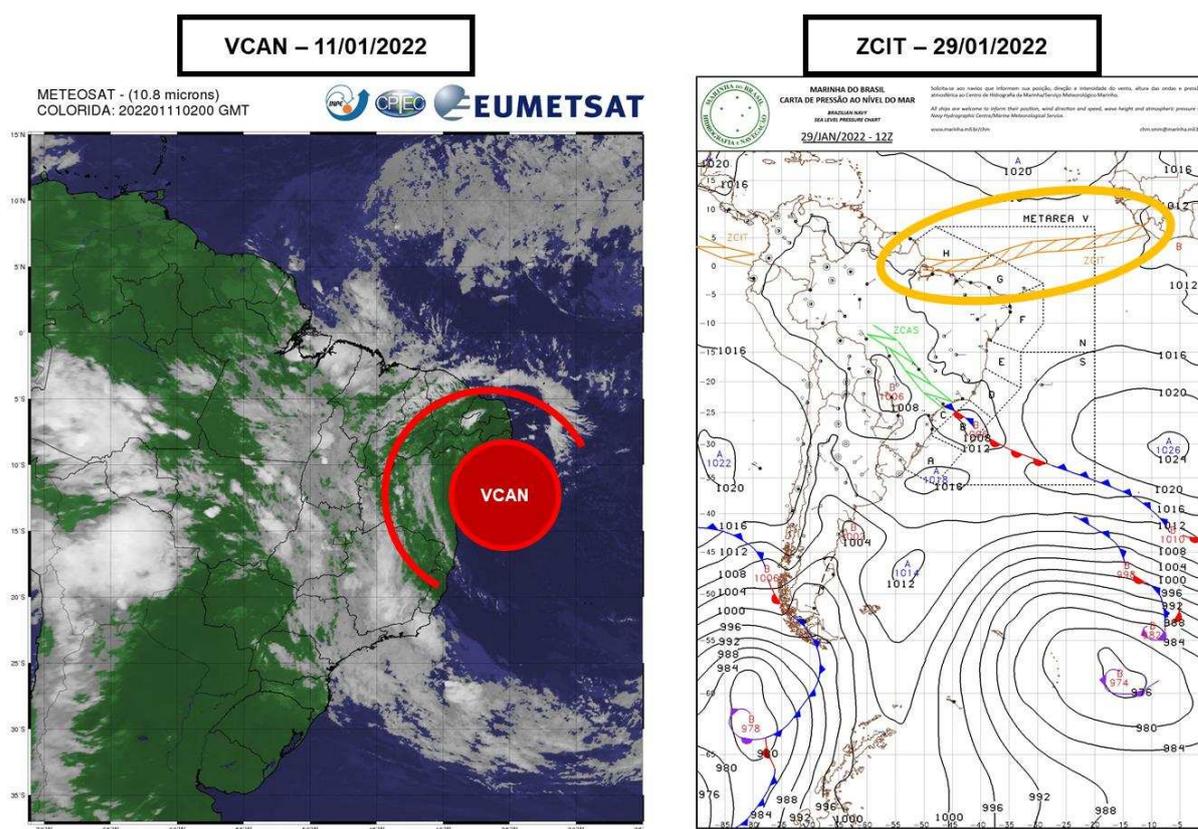


Fonte: Elaborado pelo autor.

A precipitação pluviométrica causada no período da pré-estação chuvosa é geralmente associada aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), causando volumes de precipitação elevados em períodos curtos de tempo. No mês de janeiro de 2022, houve atuação desse sistema atmosférico causador de instabilidade para o

tempo, como é possível visualizar na Figura 111, que representa as condições atmosféricas do dia 11 de janeiro de 2022, onde foram registrados 26 milímetros de precipitação associados a este sistema. Neste mês também foi possível verificar a atuação da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), que geralmente está associada à quadra chuvosa (de fevereiro a maio), mas a depender das condições atmosféricas e oceânicas, a ZCIT pode atuar na pré e pós estação chuvosa. Na Figura 111 também é possível observar a proximidade da ZCIT com a costa brasileira, trazendo repercussões para a precipitação durante esse mês de janeiro, especificamente no dia 27 de janeiro de 2022. Nos dias e períodos onde não há precipitação registrada, a mEa atuou sobre a região, causando estabilidade para o tempo.

Figura 111 – Sistemas atmosféricos atuantes em janeiro de 2022



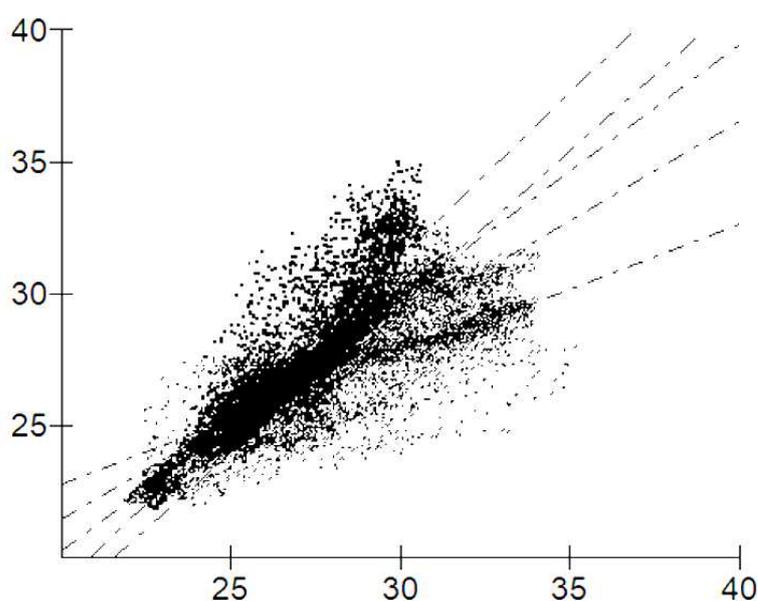
Fonte: Elaborado pelo autor.

Entendendo que as condições atmosféricas em escalas superiores interferem diretamente no comportamento do clima local, é importante destacar os sistemas que atuaram no período analisado, pois, em condições sinóticas intensas, principalmente com precipitação pluviométrica, os elementos locais (geográficos,

ambientais e urbanos) ficam suprimidos, causando homogeneidade no campo térmico como resposta à essas condições sinóticas.

Tendo como base o gráfico de dispersão dos dados referentes ao mês de janeiro (Figura 112), nota-se que há diferença em relação aos gráficos dos meses anteriormente analisados, onde os pontos estão mais próximos, demonstrando certa homogeneidade dos dados em períodos específicos. O teste de correlação de Pearson revela que há uma diminuição do indicador, que alcançou 0.8684, considerando a média do coeficiente de correlação de todos os pares submetidos ao teste. A maior correlação verificada foi entre os bairros Bom Jardim e Mondubim, onde o coeficiente de correlação foi 0.9699, enquanto a menor correlação ocorreu entre os pontos do Parque do Cocó e Paupina, obtendo índice de 0.6948.

Figura 112 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (janeiro)



Fonte: Elaborado pelo autor.

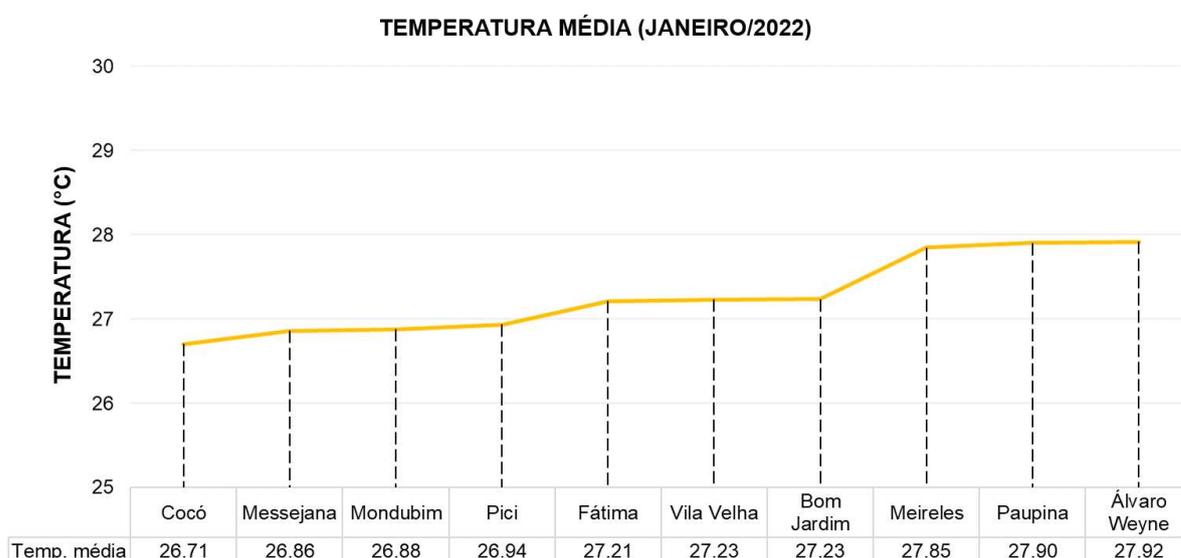
Nesse contexto, deve-se considerar a precipitação como uma importante variável para o comportamento da temperatura do ar nos pontos analisados. Quando há condições sinóticas que causam instabilidade para o tempo, as condições climáticas locais refletem as características as quais estão submetidas, diferenciando as condições térmicas verificadas nesse mês em relação aos meses anteriores.

O gráfico a seguir (Figura 113) apresenta a variação da temperatura

média mensal do mês de janeiro de 2022 nos diferentes pontos de coleta em Fortaleza. Ao observar o gráfico, pode-se perceber que as temperaturas médias mensais variam entre aproximadamente 26.71°C e 27.92°C, onde a linha traçada revela flutuações ao longo dos pontos de coleta. Ao observar o gráfico nota-se que os pontos Cocó, Messejana, Mondubim e Pici apresentam temperaturas médias mensais mais baixas, variando entre cerca de 26.71°C e 26.94°C, as temperaturas mais amenas quando comparadas com os outros pontos de coleta de dados.

Os pontos do Bairro de Fátima, Vila Velha, Bom Jardim, Meireles, Paupina e Álvaro Weyne registram temperaturas médias mensais um pouco mais elevadas, variando entre aproximadamente 27.21°C e 27.92°C. Vale ressaltar que, devido às condições sinóticas de escala superior que causaram precipitação pluviométrica na cidade de Fortaleza, as temperaturas médias sofreram diminuição significativa, além de serem suprimidas as condições locais que causam influência direta nas condições térmicas dos pontos, provocando situação de maior homogeneidade e menor intensidade das diferenças térmicas, que para esse mês foi de 1,21°C.

Figura 113 – Gráfico da temperatura média do mês de janeiro para os diferentes pontos de coleta de dados



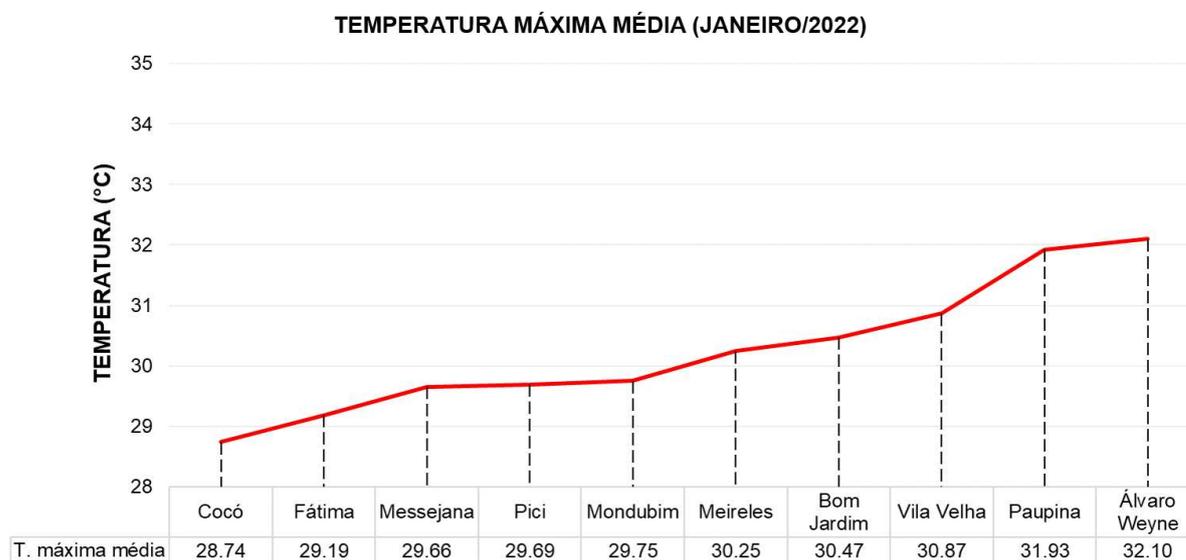
Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico da Figura 114 ilustra as flutuações na temperatura máxima média mensal nos diversos pontos de coleta de dados em Fortaleza. Ao valores de temperatura máxima média para o mês de janeiro diminuiriam significativamente em

relação aos meses anteriormente analisados, declinando até 2,6°C em relação ao mês de dezembro de 2021. Ao analisar o gráfico, é possível observar que as temperaturas máximas médias variam entre aproximadamente 28.74°C e 32.10°C nos diferentes pontos de coleta em Fortaleza. Ao examinar os pontos individuais do gráfico, percebe-se que as regiões do Parque do Cocó, Bairro de Fátima, Messejana, Pici e Mondubim apresentam temperaturas máximas médias mensais mais amenas, variando entre cerca de 28.7°C e 29.8°C.

Os pontos situados no Meireles, Bom Jardim, Vila Velha, Paupina e Álvaro Weyne registram temperaturas máximas médias mais altas, acima de 30°C, variando entre aproximadamente 30.2°C e 32.1°C. O comportamento da temperatura máxima média mensal também é justificado pela presença dos sistemas atmosféricos causadores de chuva, que além de diminuir significativamente os valores registrados, proporcionou uma maior homogeneidade dos dados, diminuindo a intensidade das diferenças térmicas.

Figura 114 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de janeiro para os diferentes pontos de coleta de dados.



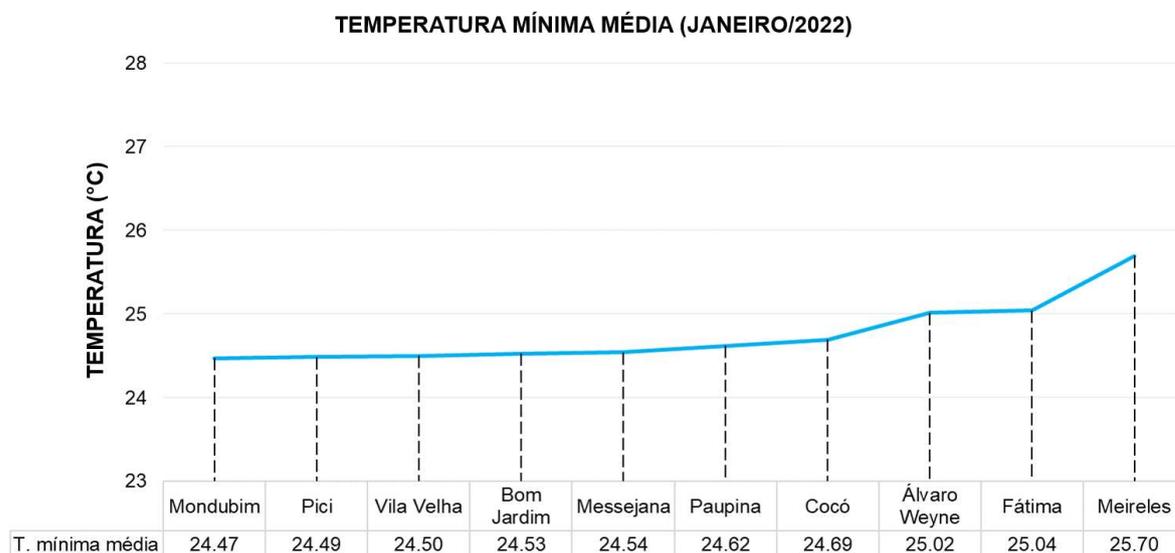
Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico da Figura 115, retrata as variações nas temperaturas mínimas médias mensais do mês de janeiro de 2022 nos diferentes pontos de coleta de dados em Fortaleza. Analisando o gráfico, pode-se observar que as temperaturas mínimas médias variam entre cerca de 24.47°C e 25.70°C nos diferentes pontos de

coleta, sendo verificada uma diminuição de até 2°C em comparação com o mês de dezembro de 2021. Apesar da diminuição significativa dos valores médios mensais, foi possível perceber a estabilidade da intensidade das diferenças térmicas registradas nos diferentes pontos de coleta de dados. O ponto com menor temperatura foi o Mondubim (24,47°C), enquanto o Meireles registrou a maior média de temperatura mínima mensal (25,70°C), o que compreende uma amplitude de 1,23°C, apenas 0,01°C a mais que o mês anterior.

No extremo inferior do gráfico, encontram-se os pontos de Mondubim, Pici, Vila Velha, Bom Jardim e Messejana, com temperaturas mínimas médias mensais variando entre aproximadamente 24.47°C e 24.54°C. Por outro lado, os pontos de Paupina, Cocó, Álvaro Weyne, Fátima e Meireles exibem temperaturas mínimas médias mais altas, variando de cerca de 24.62°C a 25.70°C. É importante destacar que, mais uma vez, os bairros de Fátima e Meireles encontram-se entre os que registraram as menores mínimas médias.

Figura 115 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de janeiro para os diferentes pontos de coleta de dados.



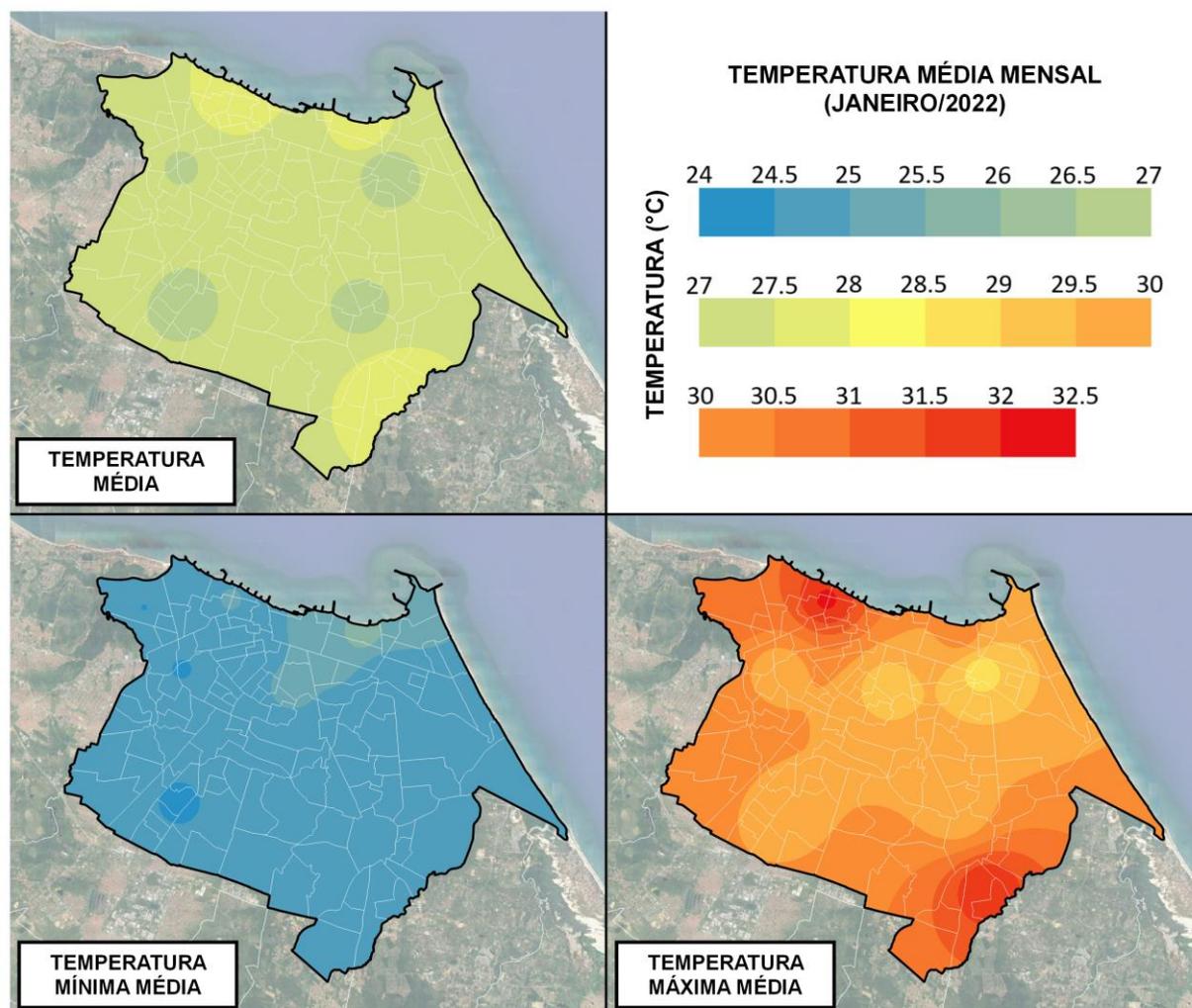
Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa da Figura 116 representa os valores médios mensais referentes a temperatura média, máxima média e mínima média para o mês de janeiro de 2022. A partir de sua interpretação é possível analisar o comportamento e os padrões espaciais dessas variáveis no território fortalezense. Diferente dos meses anteriores,

a temperatura média mensal não apresenta um padrão contínuo tão bem definido em sua espacialização, pois apesar de ser visível a concentração de maiores valores a oeste, norte e sudeste da cidade, há uma maior irregularidade espacial em relação aos valores mais baixos. Álvaro Weyne, Paupina e Meireles foram os pontos que manifestaram as temperaturas médias mais elevadas, sendo que os três pontos localizam-se em áreas bem distintas da cidade, assim como os bairros que alcançaram as médias mais baixas (Cocó, Messejana, Mondubim e Pici).

Em relação ao mapa de espacialização das temperaturas máximas médias, constata-se que, a região periférica da cidade continua apresentando os maiores valores registrados, onde o Álvaro Weyne, Vila Velha e Paupina alcançam as medidas mais elevadas, acima de 30°C. O Parque do Cocó e Bairro de Fátima se destacam mais uma vez como os pontos de registraram as menores máximas médias. No mapa de temperatura mínima média mensal, visualiza-se que os maiores valores registrados são verificados nas regiões mais verticalizadas, como ocorreu nos meses anteriormente analisados, onde a região do Meireles e Bairro de Fátima destaca-se no mapa, com observação ao ponto mais aquecido no Álvaro Weyne, que apresenta características de adensamento horizontal, diferente dos bairros supracitados. O restante do território do município compreende uma mínima média similar para esse mês em questão, como é possível visualizar no mapa.

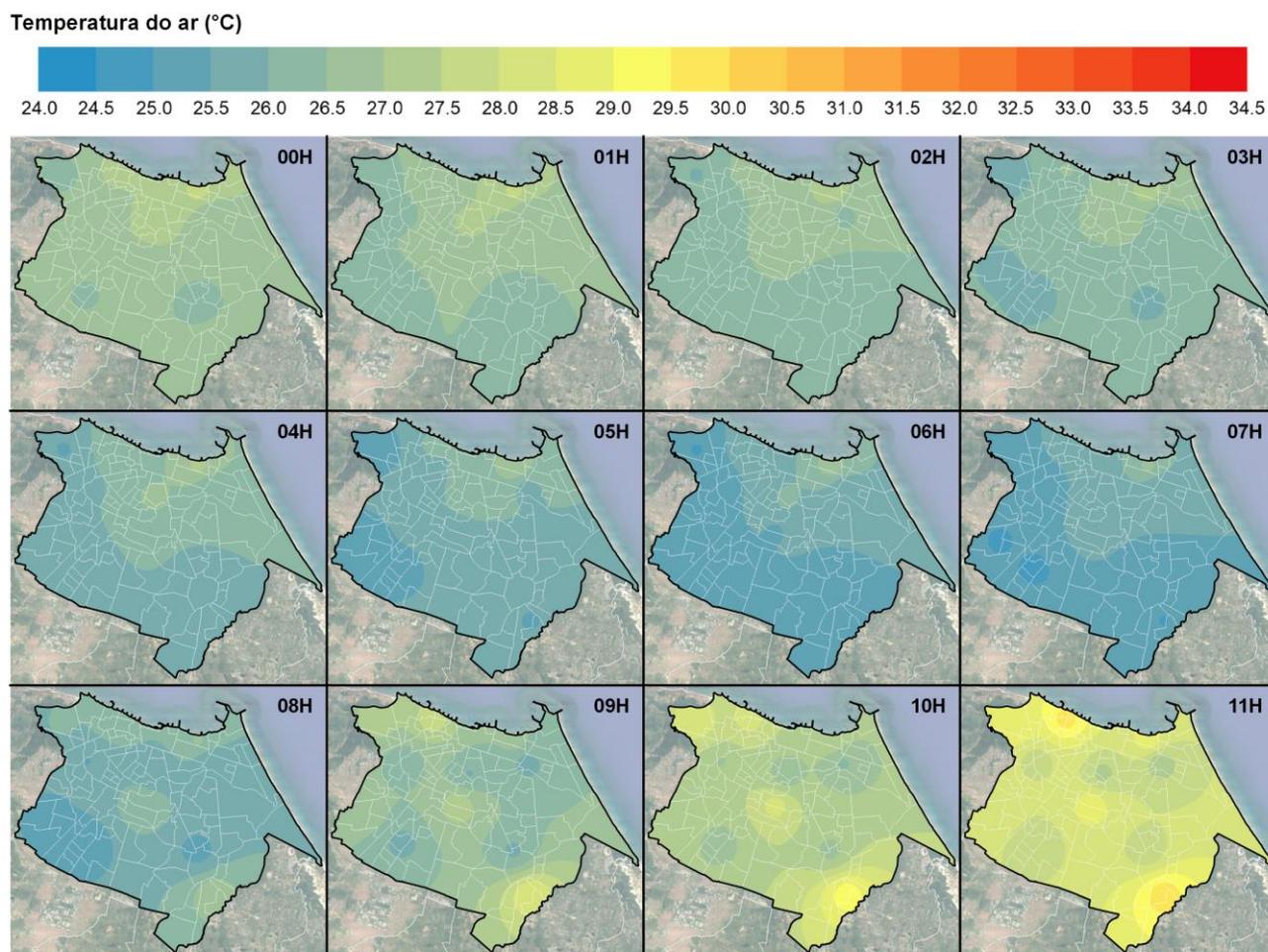
Figura 116 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de janeiro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos dados de temperatura média horária, as Figuras 117 e 118, contém as espacializações dos registros coletados e tratados através de ferramentas de geoprocessamento. Nas primeiras horas do dia, verifica-se que o comportamento da temperatura do ar assemelha-se com o observado nos meses de novembro e dezembro de 2021, onde os pontos situados em Meireles, Bairro de Fátima e Álvaro Weyne constituem aqueles com as maiores temperaturas médias durante os horários de meia noite às 5 horas da manhã, porém, um comportamento singular é a amplitude dos valores extremos verificados, os quais são maiores que 1°C, sendo de 1,43°C às 00h e 1,81°C às 05h. Os pontos de menor temperatura média nesse horário foram Messejana, Vila Velha e Mondubim.

Figura 117 – Médias horárias de temperatura do mês de janeiro de 2022 (00h – 11h)



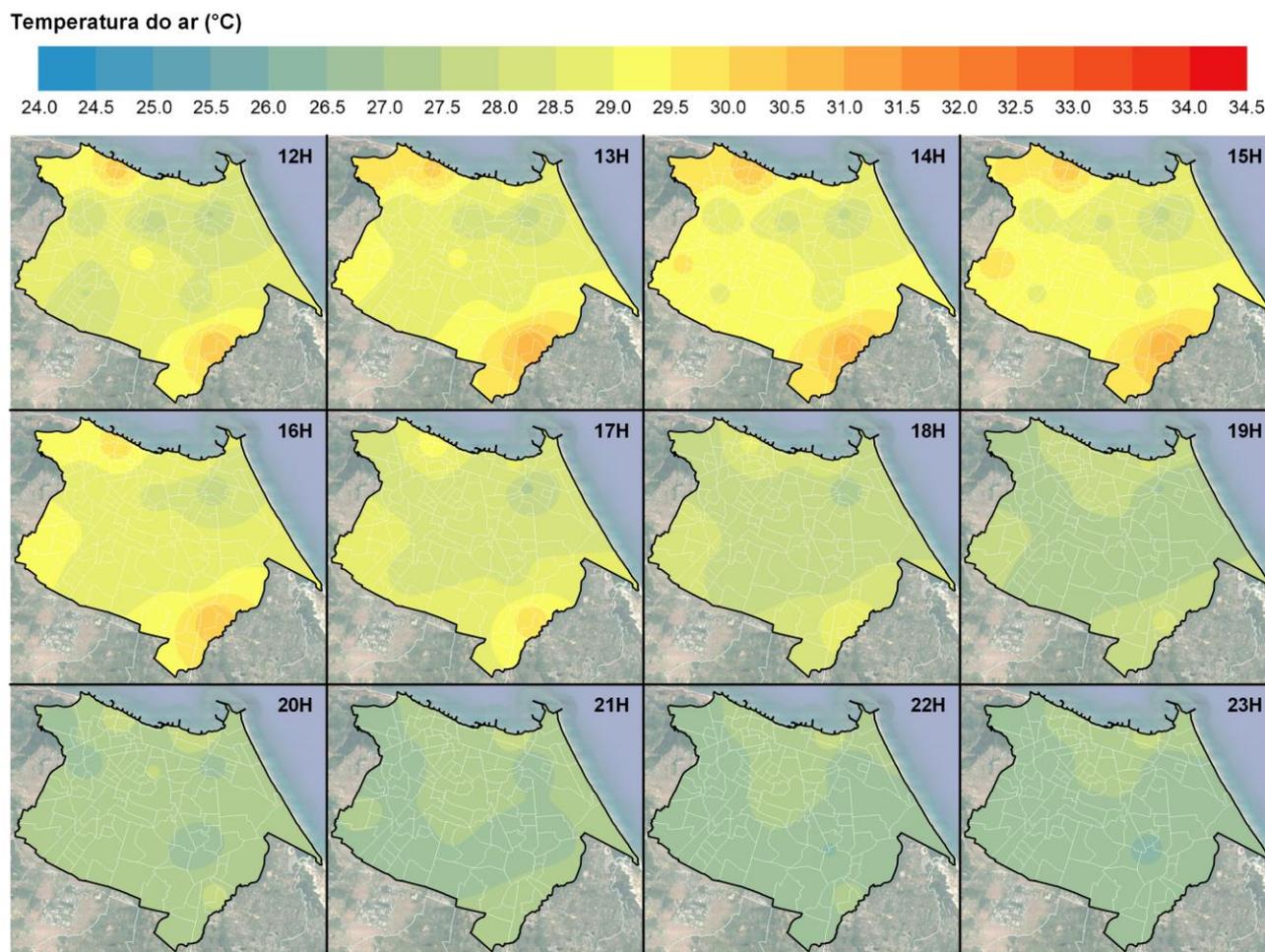
Fonte: Elaborado pelo autor.

Visualiza-se uma progressão gradual da temperatura média no decorrer das horas do dia, no entanto é só a partir das 10h que as diferenças térmicas se intensificam na cidade de Fortaleza durante esse mês, ultrapassando amplitude de 2°C, onde os bairros que registraram as maiores temperaturas foram Paupina, Álvaro Weyne e Vila Velha, mais uma vez concentrando-se no setor oeste e sudeste da cidade, enquanto o restante da cidade manteve-se com temperaturas médias semelhantes.

No decorrer do dia, como é possível visualizar na Figura 118, a temperatura média continua progredindo até alcançar seu pico médio no horário das 14h. Mas é no horário de 13h, que se verifica a maior intensidade das diferenças térmicas locais na cidade de Fortaleza durante o mês de janeiro, obtendo uma diferença de 3,11°C entre a região da Paupina e do Parque do Cocó, os quais registraram as maiores e menores médias, respectivamente. Vale salientar que a

área que compreende a Regional Administrativa 1 (Álvaro Weyne e Vila Velha) também representa um importante *hotspot* (ponto de calor) no município de Fortaleza durante esse mês, assim como o Bairro de Fátima e Pici foram representativas áreas de frescor durante esse período vespertino.

Figura 118 – Médias horárias de temperatura do mês de janeiro de 2022 (12h – 23h)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das 18h, as intensidades das diferenças térmicas diminuem para valores menores que 2°C, de 1,73°C às 18h a 1,40°C às 23h, revelando comportamento similar aos meses anteriormente descritos. Também é possível destacar que o Meireles, Bairro de Fátima e Álvaro Weyne são os bairros que durante a noite/madrugada registram as temperaturas médias mais elevadas, revelando o potencial de armazenamento de calor local dessas regiões, fazendo com que as mesmas se apresentem mais aquecidas durante esse período, mesmo que com uma intensidade mais baixa do que a verificada no período da tarde.

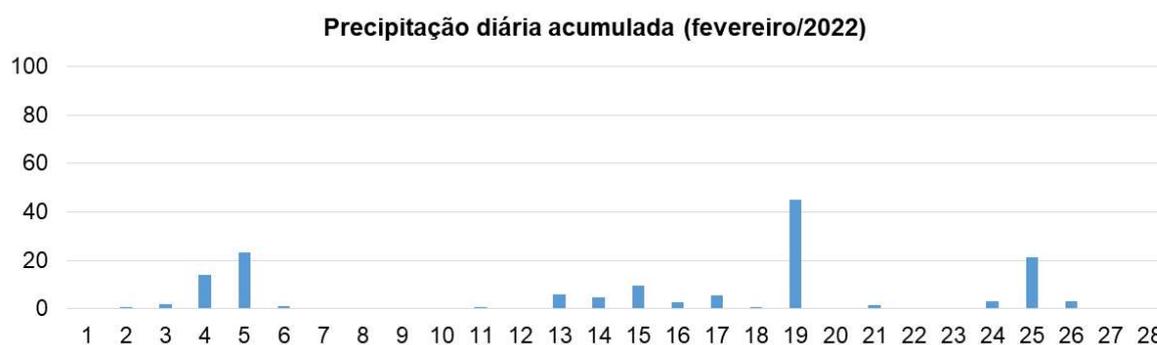
Parque do Cocó, Messejana, Pici e Vila Velha foram os bairros com os menores registros de temperatura no período da noite.

Compreende-se, a partir da interpretação dos dados, que apesar de diferentes intensidades e valores registrados, ainda é possível traçar regiões onde as temperaturas apresentam-se mais elevadas ou amenas na cidade de Fortaleza. A precipitação mostrou-se fundamental para compreender os resultados obtidos para esse mês, atípico para o período da pré-estação chuvosa.

8.2.4 Fevereiro de 2022

O mês de fevereiro marca o início da quadra chuvosa para a região de Fortaleza, onde de acordo com o discutido no capítulo 4, a média do acumulado de precipitação para esse mês é de cerca de 204 milímetros. No ano de 2022, o mês de fevereiro apresentou precipitação 28% abaixo da média (1966-2019), onde foram registrados 146 milímetros de chuva em 21 dias, como é possível visualizar no gráfico da Figura 119.

Figura 119 – Acumulado de precipitação diária para o mês de fevereiro de 2022

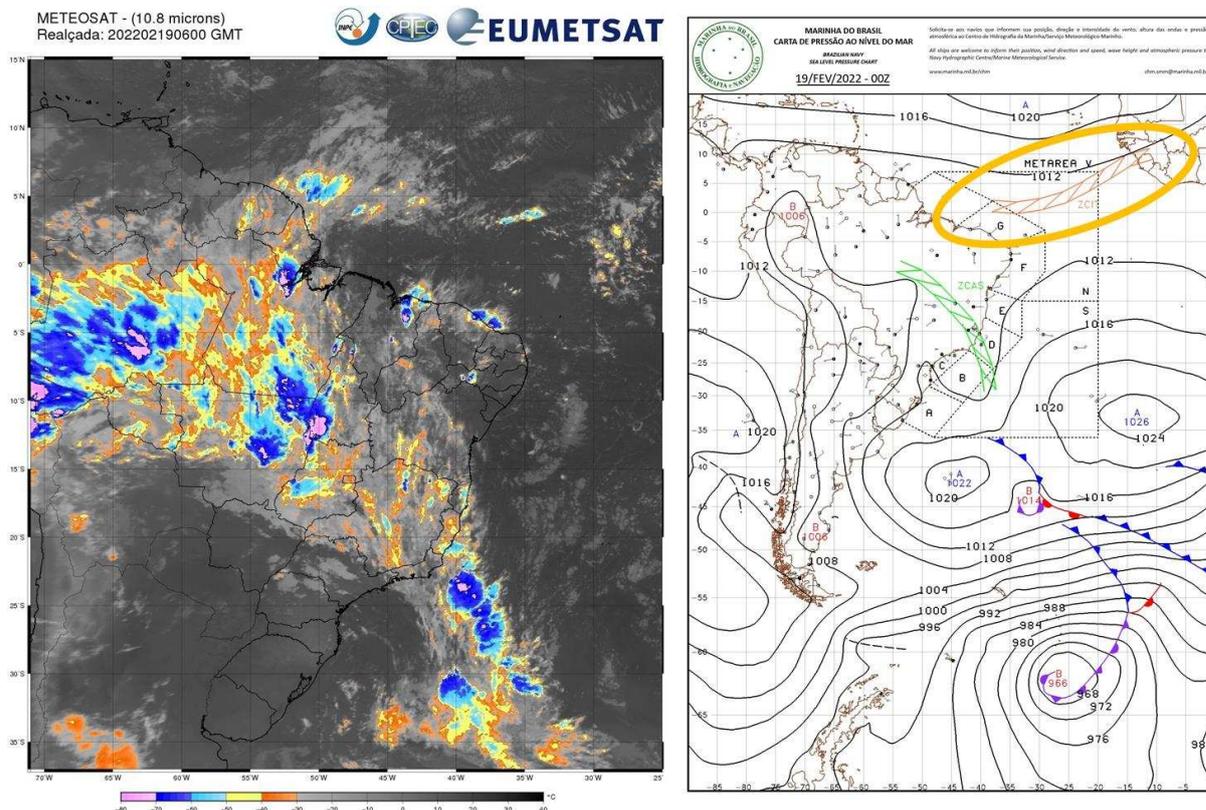


Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as intensas chuvas de janeiro, observou-se uma forte estiagem ao longo do mês de fevereiro em todo o estado do Ceará. Isso ocorreu porque a Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT) não proporcionou precipitações consideráveis para a região, onde nesse período esse sistema é o maior responsável pelos volumes de precipitação nesse mês. Na imagem da Figura 120 é possível visualizar a ZCIT mais ao norte, proporcionando repercussões a partir de áreas de instabilidade no dia 19 de fevereiro de 2022, onde foi registrado 45 milímetros de

chuva, maior volume diário referente ao mês de fevereiro. Nos dias sem chuva, é verificada a atuação da mEa, principal sistema sinótico causador de estabilidade para o tempo.

Figura 120 – Instabilidade causada pela ZCIT durante o mês de fevereiro



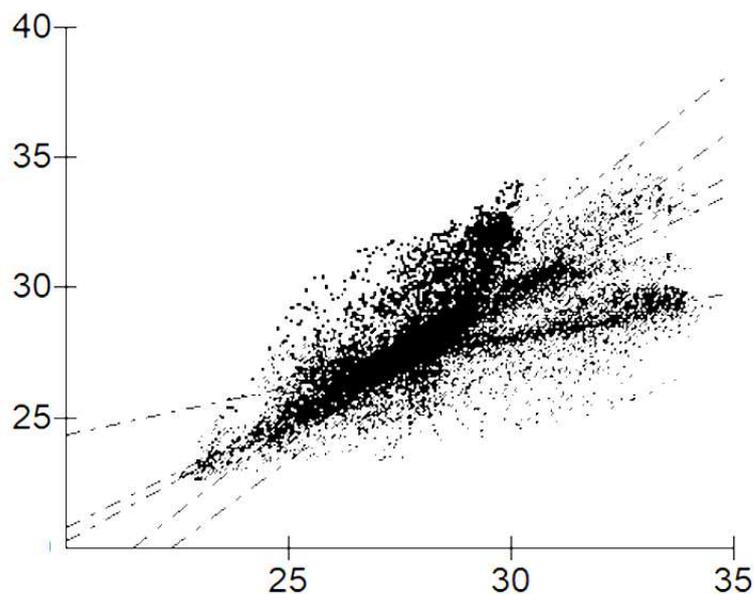
Fonte: Elaborado pelo autor.

Em comparação com o mês de janeiro, em fevereiro foi registrado 100 milímetros a menos de precipitação pluviométrica, comportamento atípico para a cidade de Fortaleza. A Figura 121 apresenta a dispersão dos dados referentes ao mês de fevereiro, que foram submetidos ao teste de correlação de Pearson. É possível perceber que há uma diminuição dos valores de temperatura desse mês em relação aos meses anteriores, onde o coeficiente de correlação médio foi 0.8997, considerando todas as combinações de pares submetidos ao teste.

Dentre os pares agrupados, o que constituiu o maior valor de correlação foi entre os pontos do Bom Jardim e Mondubim, com coeficiente de 0.9768. Esses bairros estão próximos geograficamente, além de constituírem características urbanas similares, o que pode justificar a similaridade dos dados. Com coeficiente de correlação de 0.7143, os pontos referentes ao Bairro de Fátima e Paupina,

demonstraram menor correlação de acordo com o método aplicado, sendo bairros distantes e distintos em relação às suas características geográficas e urbanas.

Figura 121 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (fevereiro)



Fonte: Elaborado pelo autor.

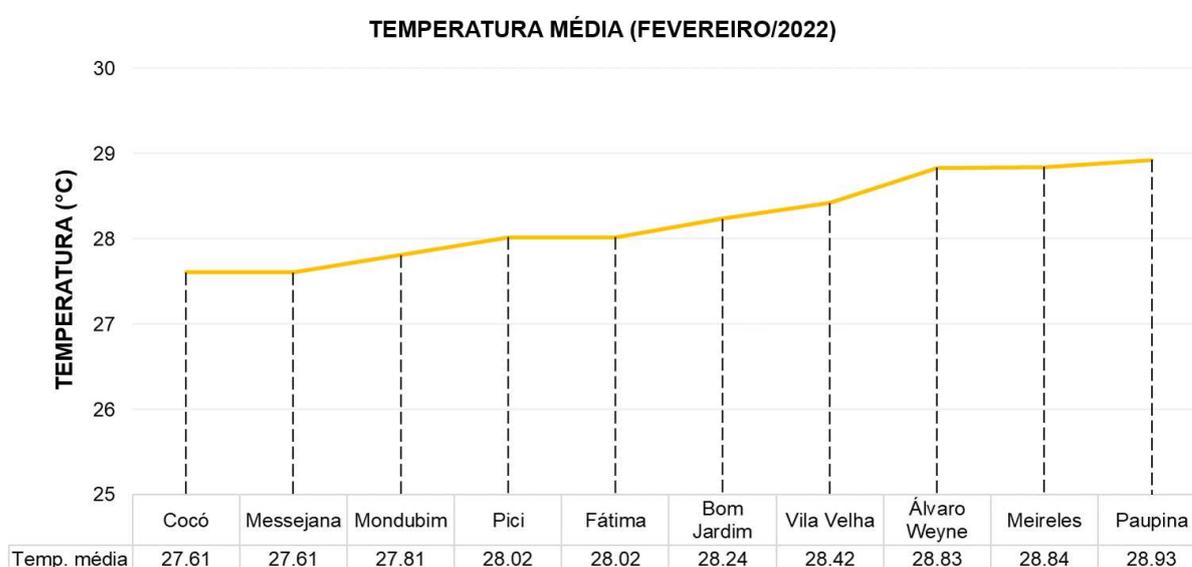
Mais uma vez, a precipitação pluviométrica representou um importante fator na interpretação dos dados e diferenciação temporal do campo térmico no ambiente urbano de Fortaleza. Apesar de abaixo da média, a chuva observada durante o mês de fevereiro influenciou na distribuição dos dados, afetando inclusive a dispersão e o coeficiente de correlação dos pontos de coleta de dados de temperatura do ar. Entendo essa particularidade, se faz necessário analisar os dados coletados em campo para compreender a dinâmica espacial referente a esse mês especificamente.

A Figura 122 é composta pelo gráfico com os dados de temperatura média mensal nos diferentes pontos de coleta de dados na cidade de Fortaleza. Ao analisar os valores, pode-se observar a variação das temperaturas ao longo das diferentes áreas da cidade e compreender as características climáticas específicas de cada região, especificamente para o mês de fevereiro, considerando as condições sinóticas predominantes.

Os pontos de coleta correspondentes ao Parque do Cocó e Messejana

registraram uma temperatura média mensal de 27.61°C, o que indica um clima relativamente ameno e estável nessas áreas durante o período analisado. Os pontos de coleta do Mondubim e Pici possuem uma temperatura média mensal de 27.81°C e 28.02°C, respectivamente. Isso indica uma ligeira diferença de temperatura entre essas áreas, com Mondubim apresentando temperaturas médias um pouco mais elevadas.

Figura 122 – Gráfico da temperatura média do mês de fevereiro para os diferentes pontos de coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

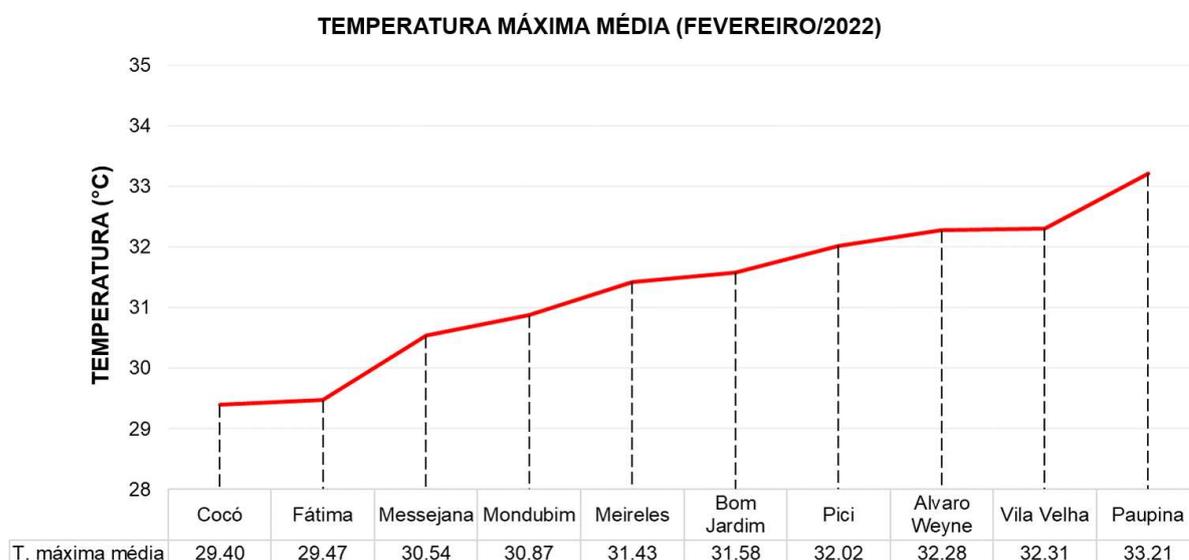
Os pontos de coleta de Fátima, Bom Jardim, Vila Velha, Álvaro Weyne, Meireles e Paupina têm temperaturas médias mensais de 28.02°C, 28.24°C, 28.42°C, 28.83°C, 28.84°C e 28.93°C, respectivamente. Pela primeira vez, o bairro Meireles apareceu naqueles que figuram entre os de maior temperatura média. Vale ressaltar que, os bairros com maior temperatura média apresentam diferenças térmicas inferiores a 1°C. Ao observar a intensidade das diferenças térmicas entre os pontos com temperaturas mais amenas e mais elevadas, nota-se um leve aumento, em relação ao mês anteriormente analisado. Constata-se que, o volume de precipitação interferiu diretamente para essa configuração, pois ao verificar uma diminuição no acumulado de chuva para o mês, percebe-se o aumento da amplitude térmica na cidade.

O gráfico da Figura 123 mostra a variação da temperatura máxima média

ao longo dos pontos de coleta de dados em Fortaleza durante o mês de fevereiro. É possível observar que as temperaturas máximas médias aumentam à medida que avançamos da esquerda para a direita no gráfico. Os pontos de coleta do Parque do Cocó e do Bairro de Fátima apresentam temperaturas máximas médias próximas, em torno de 29.40°C e 29.47°C, respectivamente.

À medida que há o deslocamento para os pontos de coleta de Messejana e Mondubim, as temperaturas máximas médias aumentam para 30.54°C e 30.87°C, respectivamente. Em seguida, há um aumento mais significativo nas temperaturas máximas médias nos pontos de coleta Meireles, Bom Jardim, Pici, Álvaro Weyne, Vila Velha e Paupina, que variam de 31.43°C a 33.21°C. Com a diminuição da precipitação, a intensidade da amplitude térmica da cidade de Fortaleza para o mês de fevereiro aumentou para 4,81°C, demonstrando a importância da precipitação pluviométrica para amenização das temperaturas máximas na cidade de Fortaleza.

Figura 123 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de fevereiro para os diferentes pontos de coleta de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

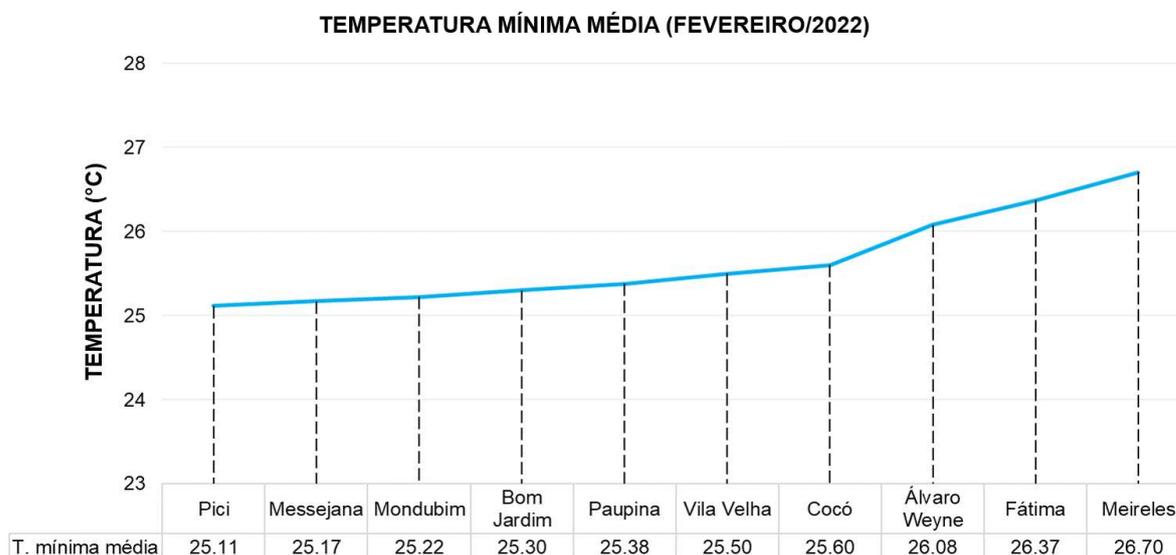
A Figura 124 mostra a variação da temperatura mínima média ao longo dos pontos de coleta de dados em Fortaleza. O ponto de coleta de dados do Pici apresenta a temperatura mínima média mais baixa, com aproximadamente 25.11°C, seguido por Messejana, Mondubim, Bom Jardim, Paupina, Vila Velha e Cocó, com temperaturas mínimas médias progressivamente mais altas, no entanto, ainda muito

próximas, abaixo dos 26°C.

Álvaro Weyne registra uma temperatura mínima média de 26.08°C, enquanto Bairro de Fátima e Meireles apresentam as temperaturas mínimas médias mais elevadas, com valores de cerca de 26.37°C e 26.70°C, respectivamente. Mais uma vez os bairros com a verticalização mais intensa (com exceção do Cocó) foram o que registraram as temperaturas mínimas médias mais elevadas, ressaltando sua capacidade de armazenamento de calor em relação aos outros pontos da cidade.

A intensidade das diferenças térmicas dessa variável, foi de 1,59°C, valor ligeiramente mais elevado que o registrado no mês de janeiro de 2022. Mais uma vez, constata-se a importância das condições sinóticas de maior escala na manifestação das condições térmicas locais, tendo em vista que, ao diminuir o acumulado mensal de precipitação, os valores médios sofrem alteração em seus valores absolutos, médios e sobretudo na amplitude das variáveis no território da cidade.

Figura 124 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de fevereiro para os diferentes pontos de coleta de dados.

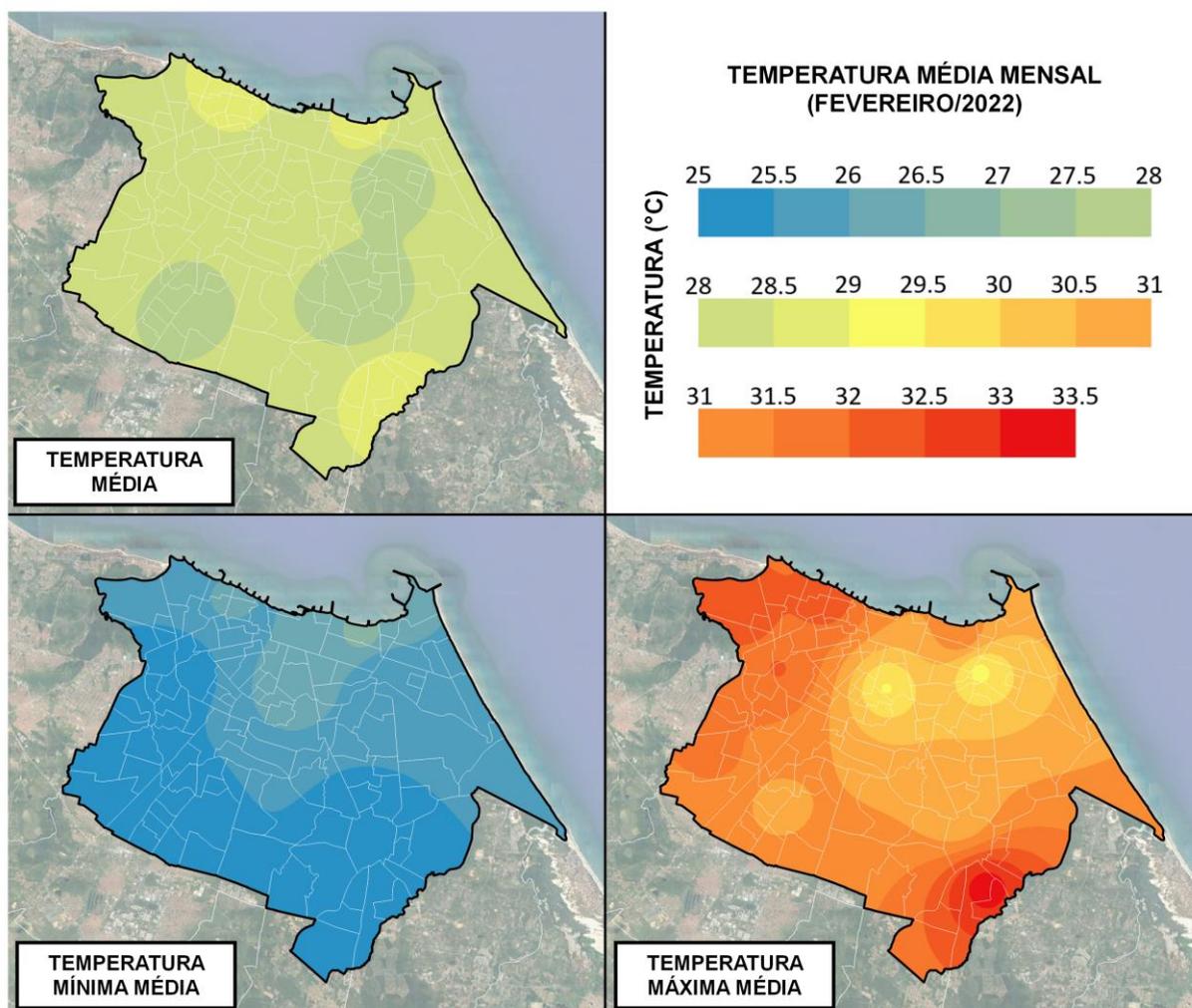


Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando o mapa da Figura 125, nota-se que as temperaturas médias para o mês de fevereiro apresentam-se mais elevadas na região noroeste, norte e sudeste do município de Fortaleza, comportamento semelhante ao verificado durante o mês de janeiro. Já as temperaturas médias mais amenas concentra-se na

extensão do Parque do Cocó, Messejana e Mondubim, semelhante ao que ocorreu no mês anterior, no entanto, com uma maior continuidade da isoterma que representa essa classe de temperatura, configurando duas regiões mais homogêneas para essa faixa térmica.

Figura 125 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de fevereiro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

As regiões periféricas da cidade, principalmente no setor oeste e sudeste, permanecem registrando as maiores temperaturas máximas médias, no entorno do bairro Álvaro Weyne e Vila Velha e também na região da Paupina, bairros que se repetem entre os mais quentes da cidade de Fortaleza. O setor nordeste/leste do município, onde se localiza o Parque do Cocó, contempla a área onde se verificam as máximas médias menos expressivas, juntamente com a região do Bairro de Fátima.

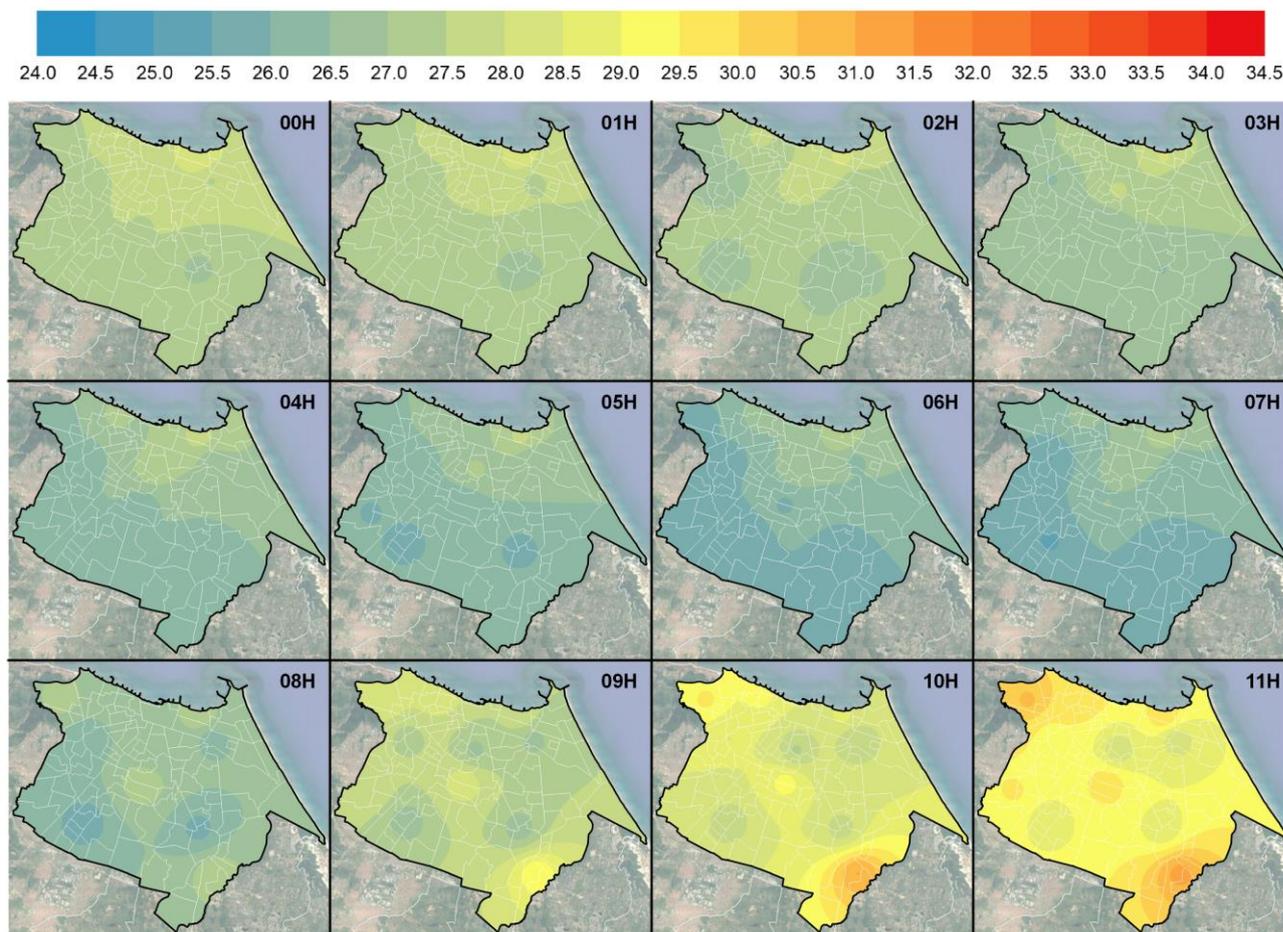
O setor sul da cidade de Fortaleza compreende uma área expressiva onde são verificadas temperaturas mínimas mais amenas, o que se justifica pelas condições térmicas horárias. Já a região centro/norte do município, onde se localizam os bairros de Meireles e Bairro de Fátima configuram temperaturas mínimas médias mais elevadas, também relacionado aos valores médios horários que interferem diretamente na composição da média mensal.

Os mapas das Figuras 126 e 127 contém a espacialização das médias horárias para o mês de fevereiro de 2022, fundamentais para a análise e compreensão do campo térmico da cidade de Fortaleza. Assim como em meses anteriormente analisados, os bairros Meireles, de Fátima e Álvaro Weyne são os que manifestam as maiores temperaturas médias no período da madrugada respectivamente, entre 00h e 05h. Os pontos de coleta de dados que registraram as menores temperaturas nessa faixa de horário foram os situados na Messejana, Mondubim e Pici, bairros reincidentes nessa posição. Vale salientar que a intensidade das diferenças térmicas é pequena nessa faixa de horário, variando de 1,50°C e 1,76°C.

Em relação aos horários da manhã, é perceptível uma singularidade em relação aos outros meses analisados. A hora do dia que registrou a maior intensidade na diferença das temperaturas médias foi às 10h, onde a Paupina obteve uma temperatura 3,56°C mais elevada que o Bairro de Fátima, sendo que o ponto mais quente obteve média horária de 31°C, enquanto o mais ameno registrou média de 27,44°C. Ao observar o mapa da Figura 126, é notório que há uma progressão na temperatura média horária no decorrer da manhã, com temperaturas superiores às registradas no mesmo período do mês anterior. Os pontos localizados na Regional Administrativa 1 (Álvaro Weyne e Vila Velha) também registraram temperaturas médias elevadas durante o período da manhã, ultrapassando os 28°C.

Figura 126 – Médias horárias de temperatura do mês de fevereiro de 2022 (00h – 11h)

Temperatura do ar (°C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

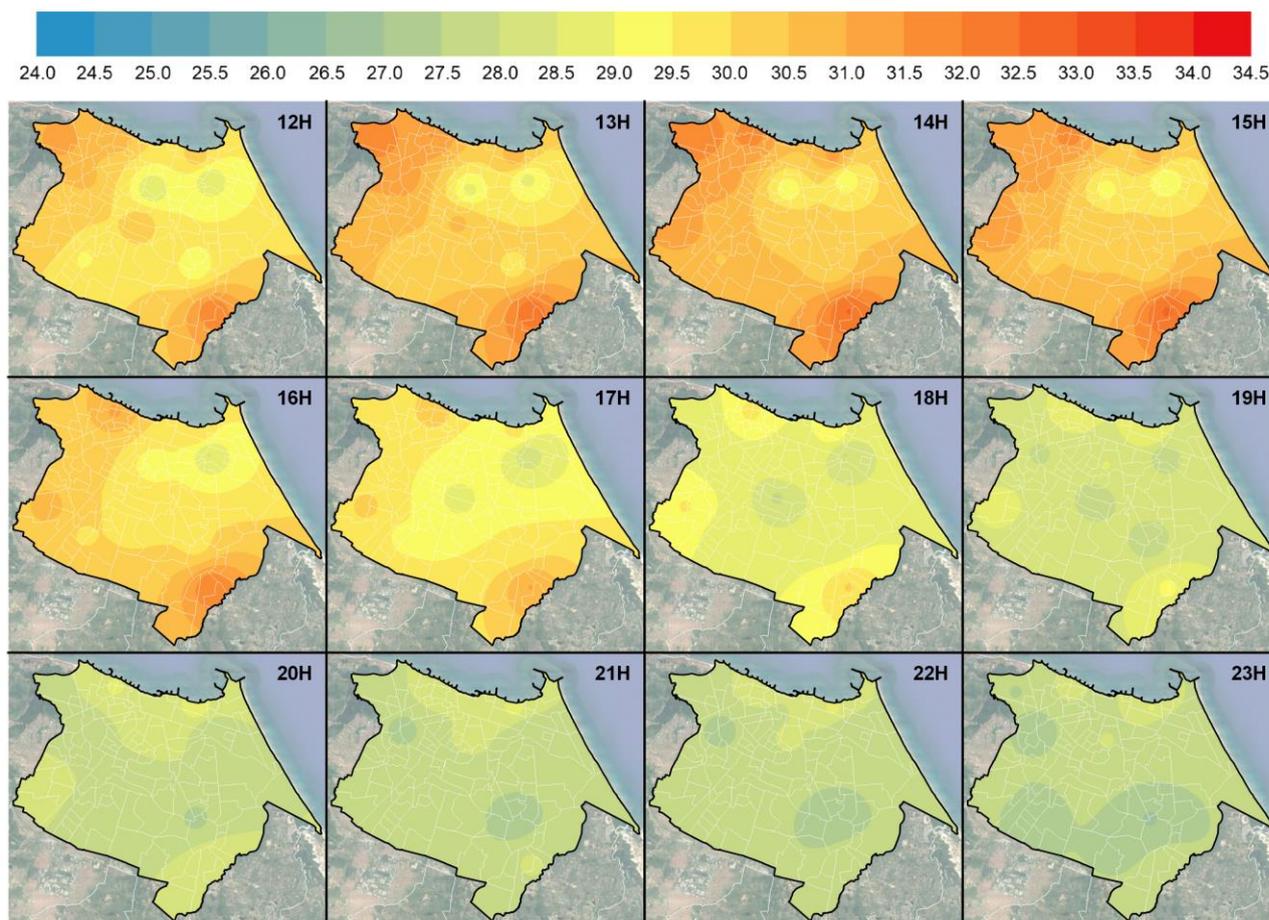
O mapa da Figura 127 traz a espacialização do período vespertino e noturno das temperaturas médias horárias. O período da tarde continua a registrar temperaturas elevadas, onde vários bairros obtiveram temperaturas médias horárias acima de 30°C. Apesar da maior intensidade média ser aferida às 10 horas da manhã, é no período da tarde que as temperaturas médias apresentam-se mais elevadas, em alguns pontos chegando a 31°C e acima de 32°C. Às 15h constatou-se uma amplitude térmica de 3,53°C em relação aos pontos mais quentes e mais amenos. Nesse horário, o ponto da Paupina registrou uma média de 32,54°C enquanto o Parque do Cocó obteve média de 29,01°C. A intensidade nesse horário ficou apenas 0,03°C menor em relação ao horário de 10h. O Parque do Cocó, o Bairro de Fátima, Mondubim e Messejana figuraram como os pontos de menor temperatura no período da tarde, enquanto Vila Velha e Álvaro Weyne estiveram

como os pontos mais quentes, junto à Paupina.

A noite, as temperaturas médias horárias apresentam-se bem mais uniformes, diminuindo a intensidade das diferenças entre os pontos mais quentes e mais amenos. Como padrão verificado nos outros meses analisados, o Meireles constitui-se como o ponto com as temperaturas médias noturnas mais elevadas, seguido diretamente pelo bairro Álvaro Weyne e de Fátima. As intensidades variam de acordo com o horário, mas todas registram amplitudes abaixo de 2°C nesse período, onde as áreas mais frescas foram Messejana, Pici, Mondubim e Parque do Cocó.

Figura 127 – Médias horárias de temperatura do mês de fevereiro de 2022 (00h – 11h)

Temperatura do ar (°C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

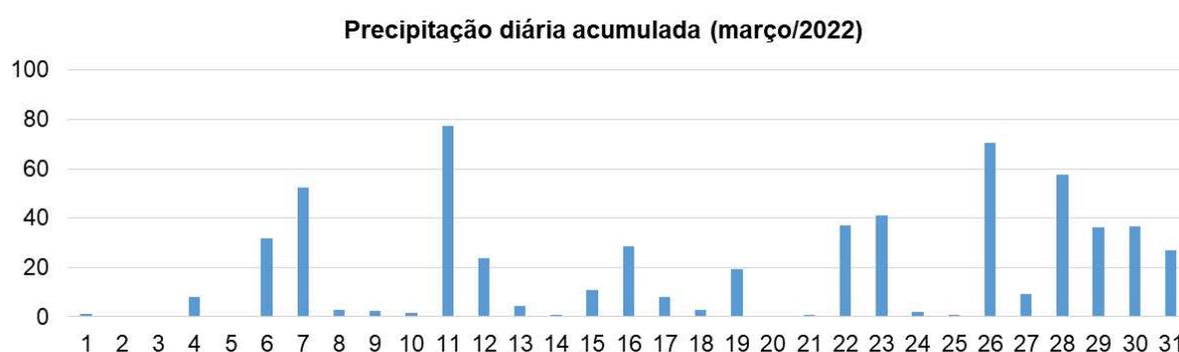
Diferente dos outros meses analisados, onde houve uma evolução gradual da intensidade das diferenças térmicas de acordo com a hora do dia, no

mês de fevereiro isso acontece de maneira irregular, onde os picos acontecem de maneira alternada, sendo verificados às 7h, 10h, 13h e 15h, alternando com amplitudes mais baixas entre esses horários. Esse comportamento é explicado pela irregularidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica, que causa homogeneidade dos atributos climáticos de acordo com a ocorrência de chuva, enquanto nos períodos de estabilidade, as características locais tender a influenciar os atributos térmicos.

8.2.5 Março de 2022

O mês de março é caracterizado como um dos meses mais chuvosos do município de Fortaleza, onde a média mensal de acordo com a caracterização realizada no capítulo 4 é de cerca de 334 milímetros de chuva acumulada. Em 2022, março apresentou um comportamento atípico em relação ao volume pluviométrico registrado, onde foi verificado acumulado 77% acima da média, precipitando neste mês 594,8 milímetros. Dos 31 dias do mês, apenas dois não registraram precipitação, como é possível visualizar no gráfico da Figura 128.

Figura 128 – Acumulado de precipitação diária para o mês de março de 2022

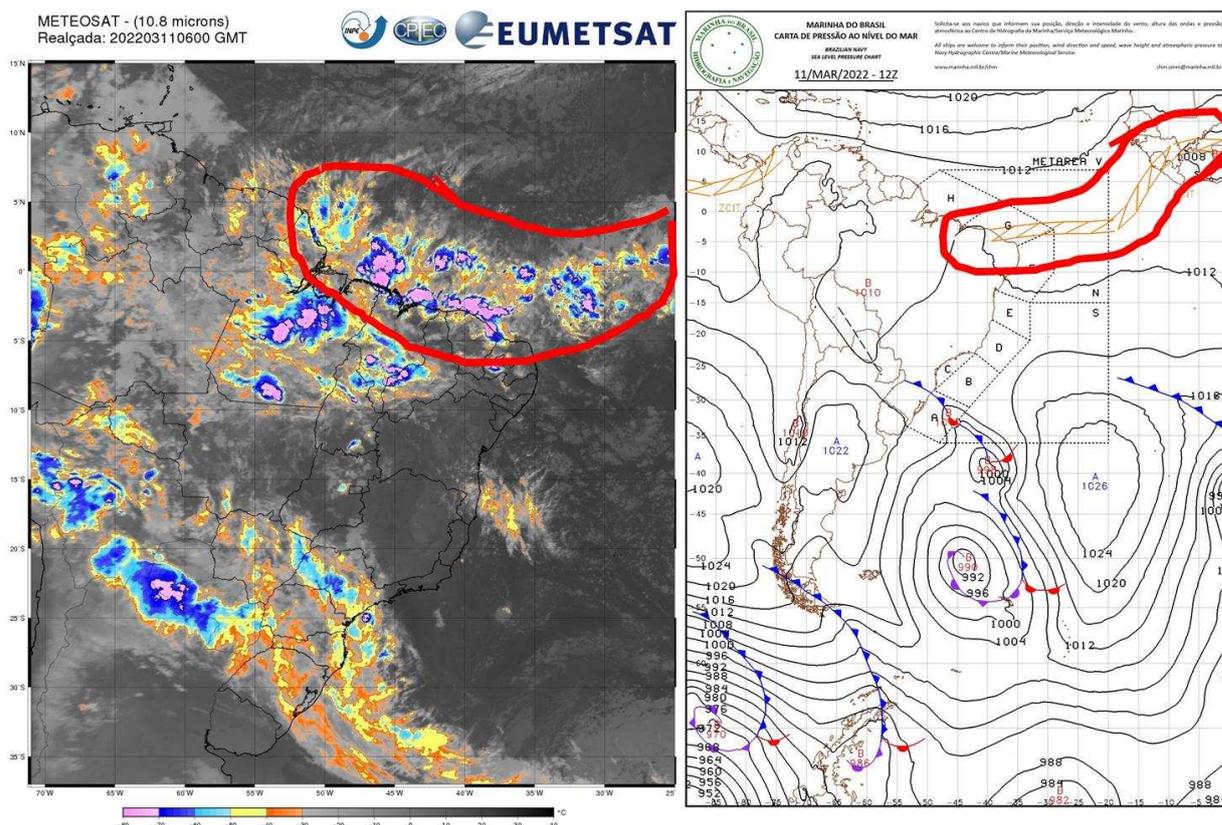


Fonte: Elaborado pelo autor.

O volume de chuva verificado no mês de março foi resultado da proximidade da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), principal sistema indutor de chuvas para esse período. Na Figura 129, é possível visualizar a ZCIT atuando sobre o norte do Nordeste brasileiro, causando precipitações intensas em diversas localidades, incluindo o litoral cearense, onde está situada a cidade de Fortaleza. Na imagem percebe-se a presença intensa de nuvens com alto potencial convectivo, o

que propiciou volumes de precipitação elevados em várias cidades cearenses, incluindo o município de Fortaleza. Especificamente no dia 11 de março de 2022, foi registrada o maior acumulado diário de chuva do mês, com 77,4 milímetros aferidos em 24 horas.

Figura 129 – Atuação da ZCIT durante o mês de março de 2022 em Fortaleza



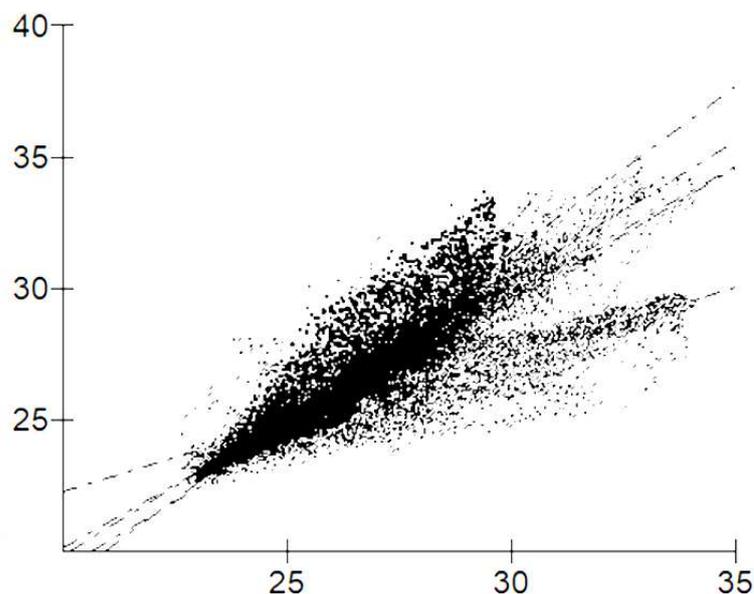
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se que, no mês de março choveu 448 milímetros a mais, em relação ao mês anterior, e 344 milímetros a mais em relação ao mês de janeiro. Dos meses analisados, março caracteriza-se como aquele com o maior volume de precipitação mensal acumulada, importante aspecto a ser considerado para a interpretação dos dados de temperatura do ar coletados e os possíveis padrões espaciais e temporais verificados.

Diferente dos outros meses que apresentam volume de chuva considerável, em março, o teste de correlação de Pearson para os dados de temperatura do ar resultou em valores mais elevados, onde a média obtida através de todas as combinações de pares foi de 0.9007. Esse valor é menor do que os verificados em novembro e dezembro, onde não houve registro de precipitação

significativo, porém foi mais elevado do que os resultados obtidos em janeiro e fevereiro, onde o acumulado de chuva foi considerável. Mais uma vez, os pontos localizados nos bairros Bom Jardim e Mondubim foram os que obtiveram maior coeficiente de correlação, alcançando um total de 0.9815, enquanto o parque alcançou menor valor de r foi o Bairro de Fátima e Pici, com um total de 0.7314. Na Figura 130 a seguir é possível visualizar o gráfico de dispersão dos dados de temperatura do ar submetidos ao teste de correlação de Pearson. Visualmente, este é o mês onde a dispersão dos dados encontra-se mais próxima.

Figura 130 – Gráfico de dispersão dos dados submetidos ao teste de correlação (março)



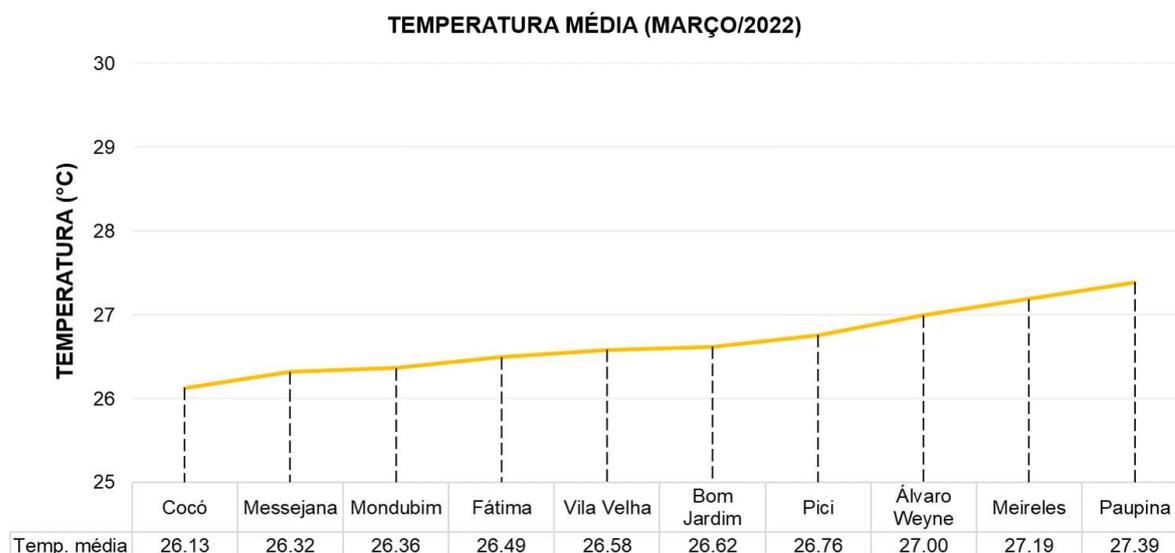
Fonte: Elaborado pelo autor.

Mais uma vez, a precipitação se mostrou um elemento fundamental na interpretação dos dados de temperatura do ar, percebe-se que os valores verificados durante o mês de março estão abaixo dos verificados nos outros meses analisados, sendo possível afirmar que a chuva consiste um importante fator de amenização térmica na cidade de Fortaleza.

Na Figura 131, o gráfico de linha apresenta a temperatura média mensal de março em diferentes pontos de coleta de dados em Fortaleza. Analisando os dados, pode-se observar que a maioria dos pontos de coleta apresenta temperaturas médias próximas uns dos outros, variando entre 26,13°C e 27,39°C.

Essa faixa estreita sugere uma homogeneidade climática durante o mês de março em Fortaleza. No início do gráfico encontra-se o ponto de coleta do Parque do Cocó, que registra a temperatura média mensal mais baixa de 26,13°C. Em seguida, temos Messejana com 26,32°C e Mondubim com 26,36°C, ambos apresentando temperaturas ligeiramente mais altas.

Figura 131 – Gráfico da temperatura média do mês de março para os diferentes pontos de coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores continuam a subir gradualmente, com o ponto do Bairro de Fátima atingindo 26,49°C e Vila Velha com 26,58°C. No meio do gráfico, é possível observar um aumento discreto nas temperaturas médias. Bom Jardim registra uma temperatura média de 26,62°C, seguido por Pici com 26,76°C. Álvaro Weyne surge como um ponto de destaque, apresentando uma temperatura média de 27,00°C. Na parte final do gráfico, encontram-se as temperaturas médias mais altas registradas, no bairro Meireles, com 27,19°C, e em Paupina, com 27,39°C, sendo os três últimos pontos os únicos a alcançarem temperaturas médias mensais acima de 27°C.

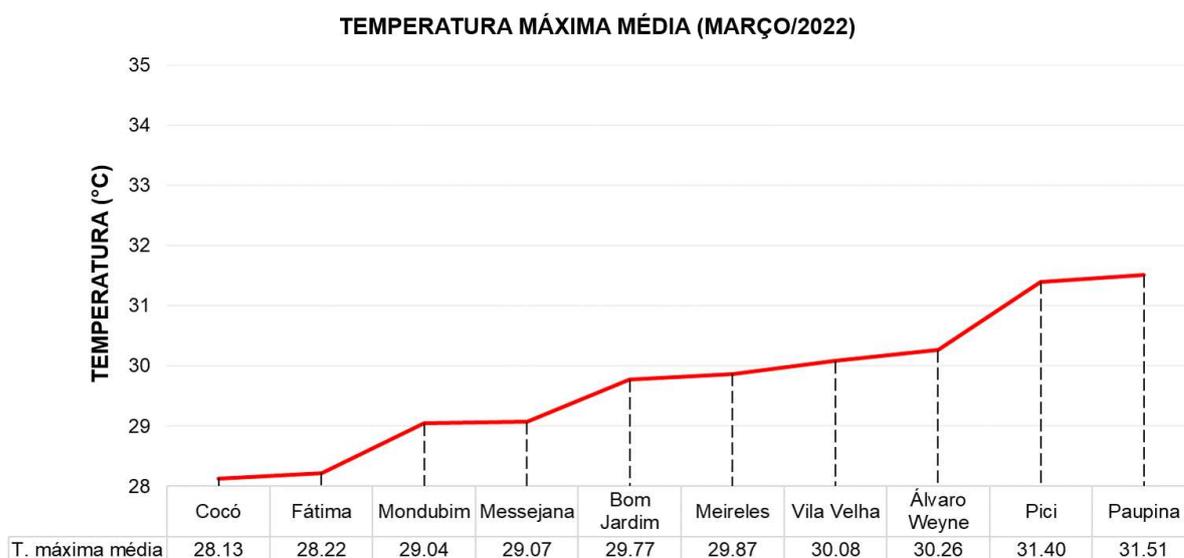
Observa-se que há uma diminuição da intensidade das diferenças térmicas durante do mês de março, se comparado ao mês anterior. Com um volume maior de precipitação, e possivelmente sua distribuição espaço-temporal homogênea no território da cidade, há uma homogeneização das temperaturas médias. No mês de março, amplitude da temperatura média do município foi de

1,26°C.

O mesmo padrão foi identificado para os dados de temperatura máxima média (Figura 132), onde foi perceptível uma diminuição da intensidade da diferença entre os pontos extremos em relação a essa variável. A amplitude identificada para esse mês foi de 3,38°C, onde houve a redução de 1,4°C em relação ao mês anterior, devido ao aumento do volume de precipitação acumulada para esse mês.

No início do gráfico da Figura 132 encontra-se o ponto de coleta do Parque do Cocó, registrando a menor temperatura máxima média para o mês de março, de 28,13°C. Logo em seguida, o Bairro de Fátima apresenta um aumento sutil, alcançando 28,22°C. À medida que se avança, observa-se um incremento mais expressivo nas temperaturas.

Figura 132 – Gráfico da temperatura máxima média do mês de março para os diferentes pontos de coleta de dados



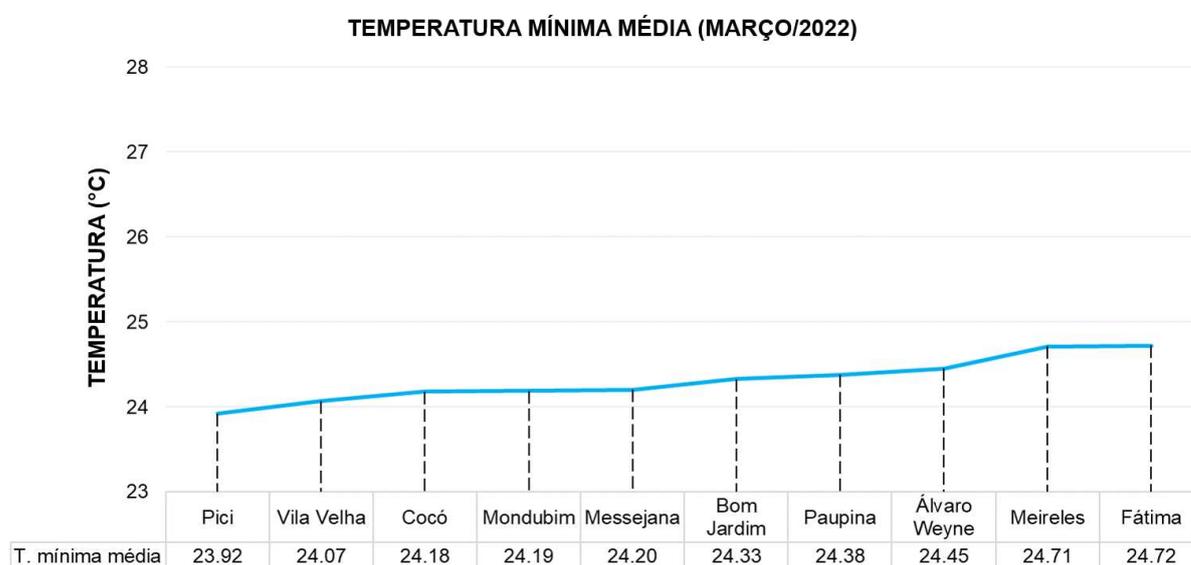
Fonte: Elaborado pelo autor.

Mondubim e Messejana exibem valores próximos, com temperaturas máximas médias de 29,04°C e 29,07°C, respectivamente. A tendência de aumento se mantém com Bom Jardim, que registra 29,77°C, e Meireles com 29,87°C. Conforme se avança no gráfico, as temperaturas continuam a subir gradualmente. Vila Velha apresenta uma temperatura máxima média de 30,08°C, seguido por Álvaro Weyne com 30,26°C. O ponto de coleta Pici destaca-se com uma temperatura máxima média de 31,40°C, enquanto Paupina registra a maior

temperatura máxima média do mês de março, atingindo 31,51°C.

O mês de março apresentou diminuição significativa nos valores de temperatura mínima média, como é possível visualizar no gráfico da Figura 133. Destaca-se o ponto de coleta do Pici, registrando a menor temperatura mínima média de 23,92°C. Em seguida, Vila Velha apresenta um aumento sutil, atingindo 24,07°C. Os pontos de coleta Cocó, Mondubim e Messejana possuem temperaturas mínimas médias bastante próximas, oscilando entre 24,18°C e 24,20°C.

Figura 133 – Gráfico da temperatura mínima média do mês de março para os diferentes pontos de coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

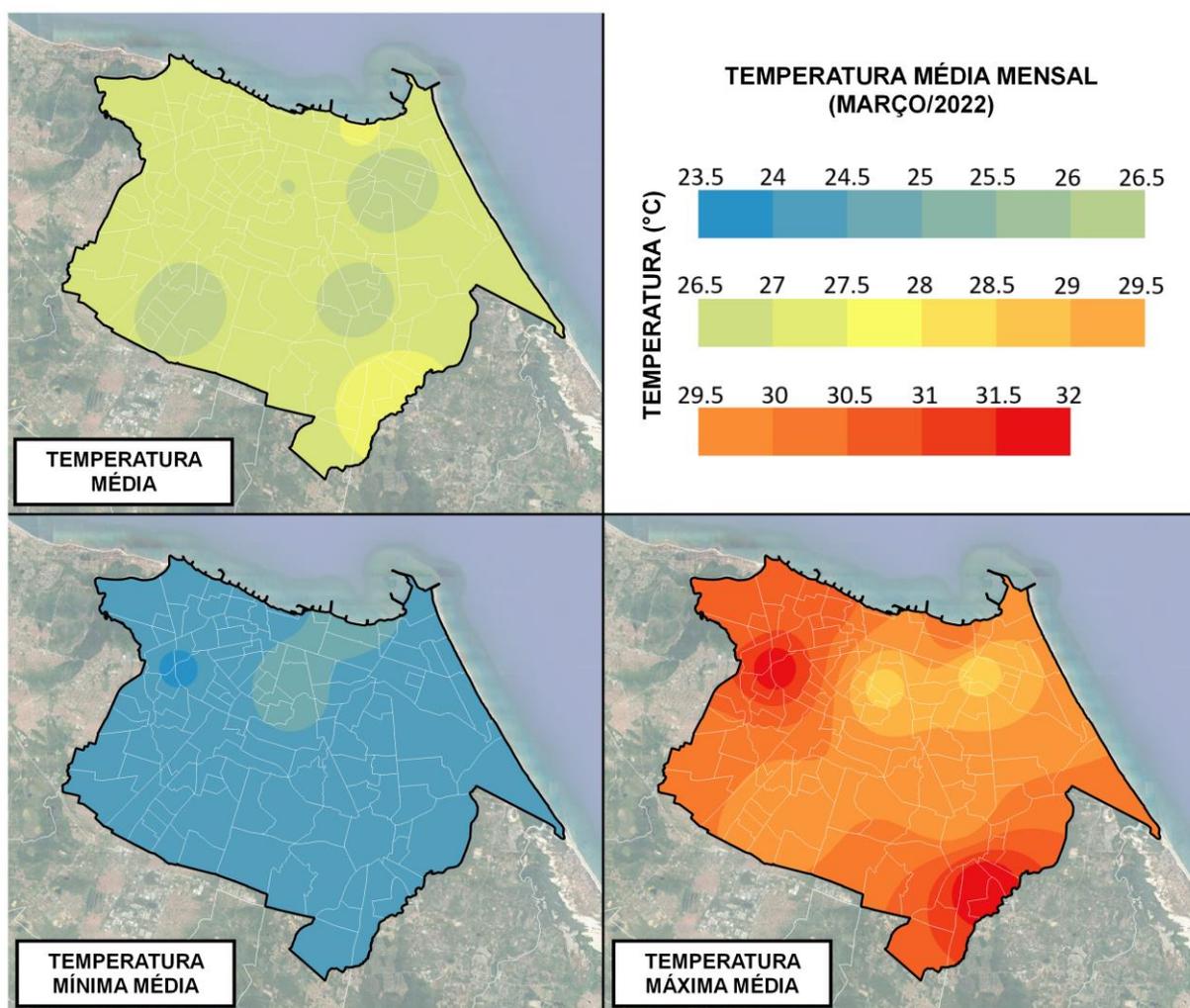
Percebe-se um aumento gradual nas temperaturas mínimas médias. O ponto do bairro Bom Jardim registrou 24,33°C de temperatura mínima média, enquanto Paupina apresenta uma ligeira elevação para 24,38°C. O ponto de coleta do Álvaro Weyne registra 24,45°C, e Meireles mostra um aumento para 24,71°C. O ponto do Bairro de Fátima registra a maior temperatura, com uma temperatura mínima média mensal de 24,72°C.

Seguindo o padrão verificado nas outras médias de temperatura, durante o mês de março foi verificado um declínio no valor de temperatura mínima média em relação aos meses anteriormente analisados. Nesse mês a intensidade da diferença dos pontos com maior e menor temperatura foi de 0,8°C, o menor dentre todos os meses. Mais uma vez, constata-se que, a instabilidade atmosférica associada à

precipitação pluviométrica gera uma situação de homogeneidade dos atributos climáticos, diminuindo a intensidade dos elementos aferidos.

Em relação a temperatura média mensal, não é possível identificar um padrão de continuidade espacial para o mês de março. Como é possível visualizar no mapa da Figura 134, nesse mês, a cidade apresentou dois pontos mais aquecidos (região do Meireles e Paupina), enquanto na região do Parque do Cocó, Messejana, Mondubim e Bairro de Fátima, foram registradas as menores temperaturas médias mensais. Sendo assim, para esse mês não é possível apontar regiões homogêneas em relação aos dados de temperatura média.

Figura 134 – Mapa das temperaturas médias mensais do mês de março de 2022



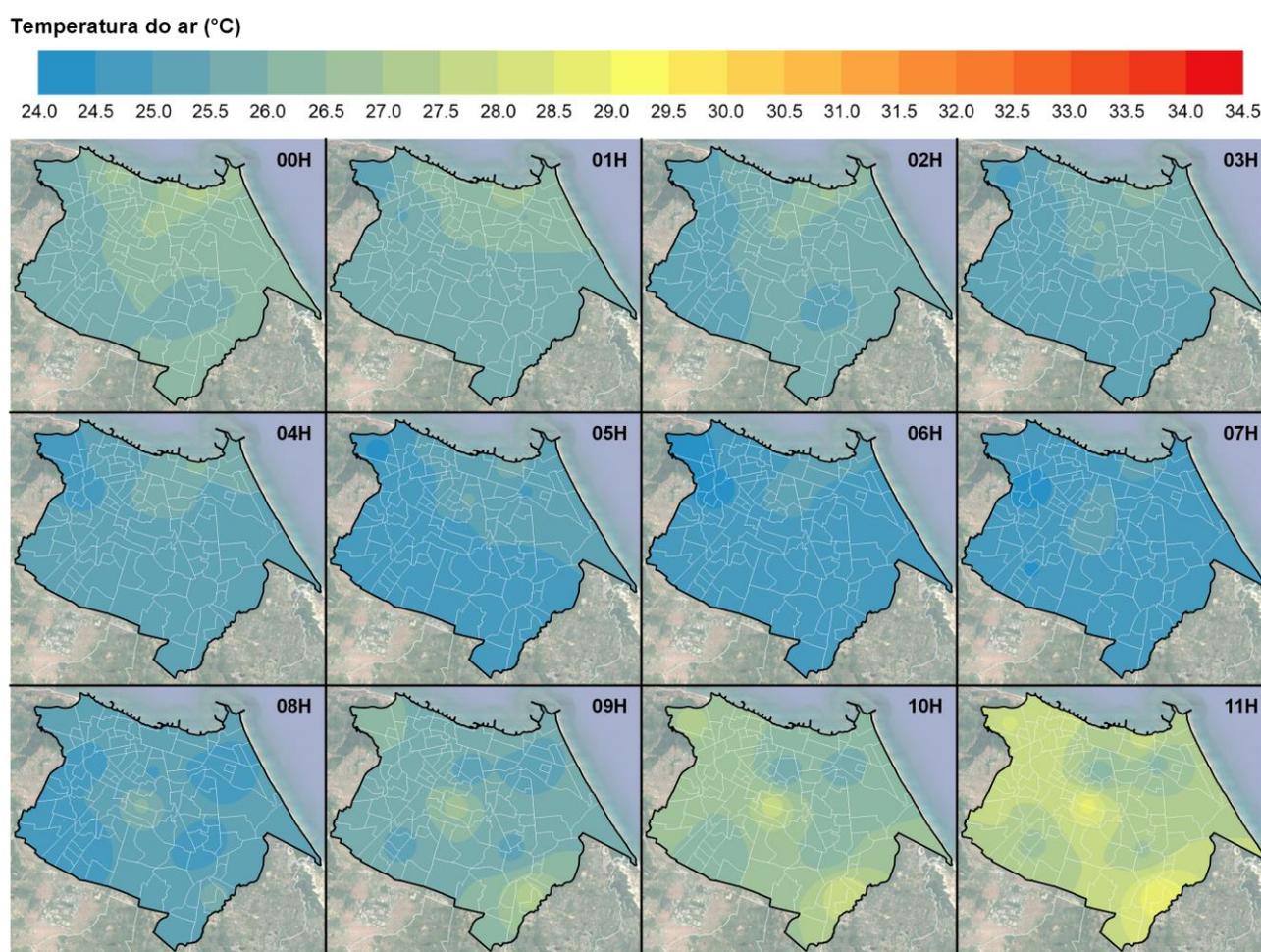
Fonte: Elaborado pelo autor.

No mapa de temperatura máxima média, já é possível visualizar certo padrão e continuidade espacial para o dado. Mais uma vez, a região periférica da

cidade de Fortaleza é considerada como a mais problemática em relação às temperaturas máximas, mesmo que com menor intensidade e menores valores registrados. Enquanto os arredores do Parque do Cocó e Bairro de Fátima consistem nas áreas mais amenas em relação aos valores máximos médios.

As temperaturas horárias (Figura 135 e 136) mostram as características espaço-temporais da temperatura do ar no município de Fortaleza durante o mês de março do ano de 2023, o mais chuvoso do período analisado.

Figura 135 – Médias horárias de temperatura do mês de março de 2022 (00h – 11h)



Fonte: Elaborado pelo autor.

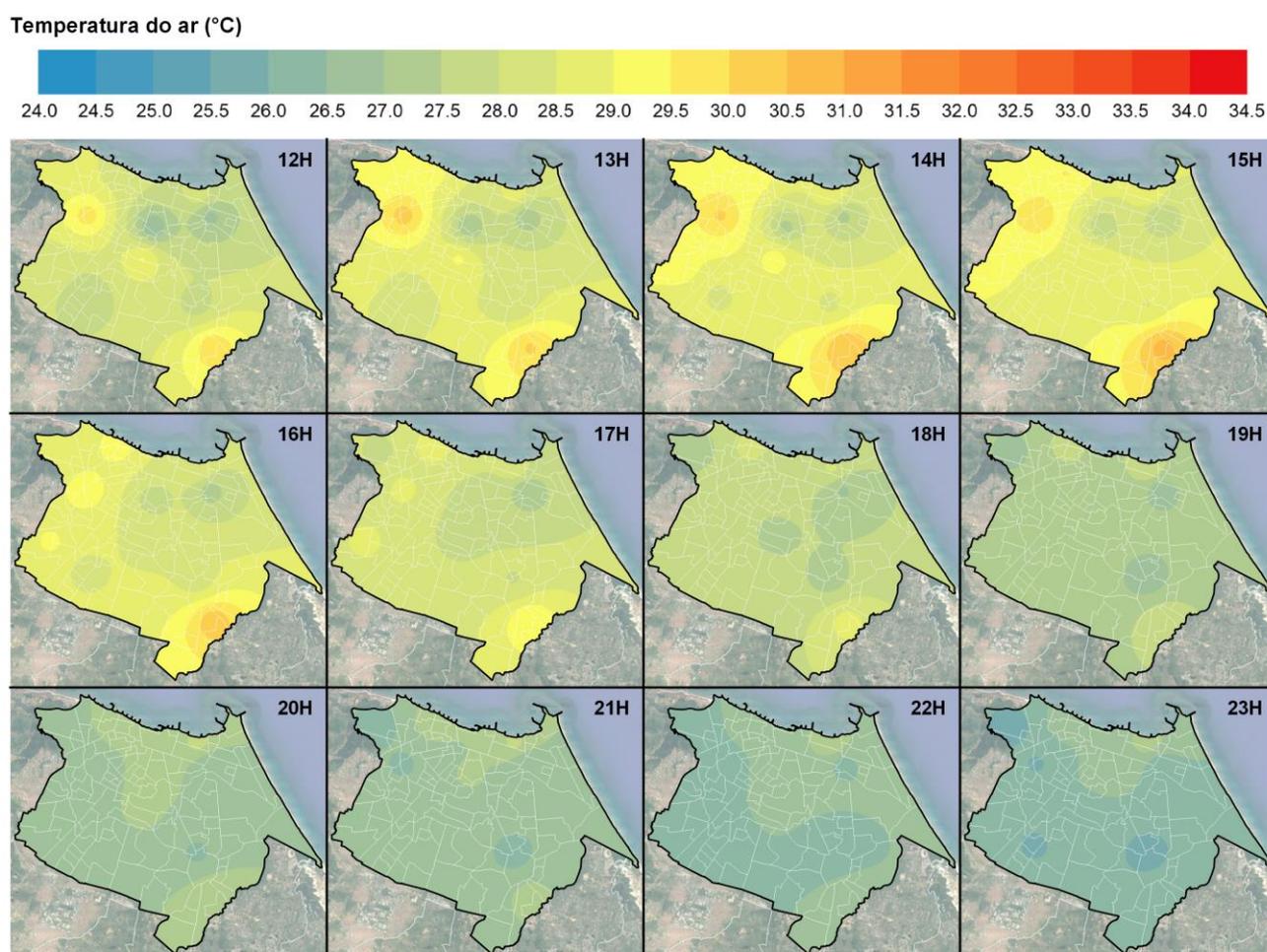
Acompanhando as médias mensais, é possível verificar que as médias horárias para o mês de março diminuíram em relação ao mês anterior, devido ao alto volume de precipitação. Na madrugada, de 00h às 05h as médias horárias de temperatura ficaram acima de 1,3°C. Durante esse período, a região de Meireles foi a que apresentou as maiores médias horárias, assim como os meses anteriores.

Junto ao Meireles, estão o bairro de Fátima e Álvaro Weyne, com as maiores médias para o período da madrugada, padrão este verificado em outros meses analisados.

Nos primeiros horários da manhã, há uma diminuição das diferenças térmicas entre os pontos mais quentes e mais frescos (06h, 07h e 08h), entre 07h e 08h, a intensidade das diferenças térmicas médias chegaram a menos de 1°C. A partir das 09h há uma elevação significativa da intensidade das diferenças de temperatura média, alcançando valores acima de 2°C, onde Paupina e Vila Velha foram os mais aquecidos nesse período específico.

O horário do dia onde foi registrada a maior intensidade térmica foi às 12h, padrão semelhante aos verificados em outros meses analisados. A amplitude máxima foi de 3,24°C, onde os pontos mais quentes foram Paupina e Pici, enquanto os mais frescos foram Bairro de Fátima e Parque do Cocó, como é possível visualizar no mapa da Figura 136.

Figura 136 – Médias horárias de temperatura do mês de março de 2022 (12h – 23h)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o período da tarde (12h às 17h), nota-se que há uma diminuição gradual da temperatura do ar e da intensidade das diferenças térmicas na cidade, mantendo amplitude acima de 2°C nesses horários vespertinos. A região oeste e sudeste da cidade foram as que apresentaram as temperaturas mais elevadas durante essa faixa horária, enquanto Parque do Cocó e bairro de Fátima registraram temperaturas médias mais amenas.

Durante a noite, a partir das 18h, as intensidades térmicas diminuem para valores abaixo de 2°C, demonstrando padrão semelhante aos horários da madrugada. Os bairros Meireles, Fátima e Álvaro Weyne registraram as maiores temperaturas médias durante esses horários, padrão semelhante ao verificado nos meses anteriores. Messejana, Pici e Parque do Cocó foram os pontos de medição onde é possível identificar as menores temperaturas noturnas.

9 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA E ÁREAS PRIORITÁRIAS

Visando a indicação de áreas prioritárias para ações de conservação e mitigação dos efeitos climáticos relacionados ao campo térmico, foi necessário realizar análises geoestatísticas dos parâmetros analisados anteriormente. Nessa sessão, foram submetidos aos índices de Moran (Global e Local) os resultados das interpolações, referentes às campanhas de coleta de dados de temperatura do ar, e também o resultado do Mapeamento Climático Urbano (UCMap).

Visando a aplicabilidade e replicabilidade dessa técnica, a escala de bairro foi escolhida para apresentar e representar os dados descritos. Sabe-se que, os limites dos bairros são administrativos, ou seja, não tem relação direta com os fenômenos ambientais (como é o caso da temperatura do ar), no entanto, são os limites utilizados pelo poder público e gestão municipal para estabelecer diretrizes, projetos e programas que visam a mitigação e adaptabilidade da cidade aos efeitos climáticos. Também é importante destacar que é fundamental verificar regiões homogêneas, onde as ações a serem implementadas podem ser executadas de maneira sistemática, atingindo regiões maiores, como é o caso das regionais administrativas municipais.

O resultado, tanto do UCMap como das interpolações foram espacializados de acordo com os métodos descritos em suas respectivas sessões. Para compreender a dinâmica entre os bairros, foi realizado processo de estatística zonal em ferramenta SIG (QGIS), para obter a estatística descritiva resumida para a área do bairro, onde as células que compõe o *raster* principal foram agrupadas nos bairros de Fortaleza, e submetidas a contagens e estatísticas descritivas (média, mediana, valores máximos e mínimos e etc.).

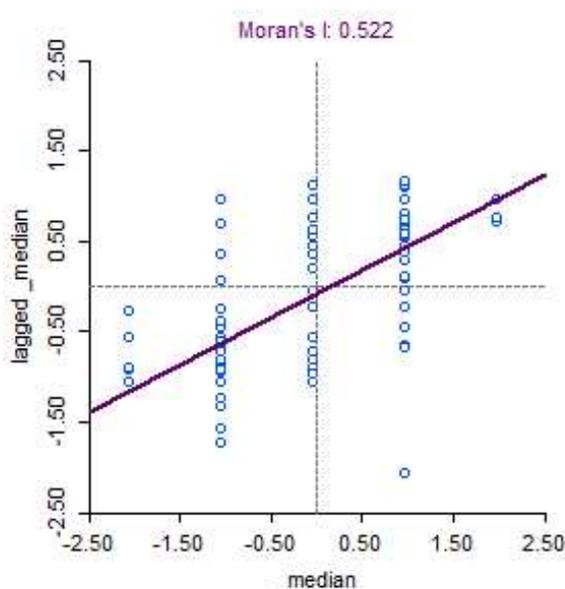
Após o cálculo das variáveis para cada bairro de Fortaleza, foi gerado um arquivo vetorial no formato *shapefile* com o resultado das operações de estatística zonal. Em posse dos arquivos vetoriais, os mesmos foram inseridos no *software* Geoda, para aplicação dos índices de Moran, com o intuito de encontrar *clusters* de autocorrelação espacial, ou seja, agrupamentos de bairros que possuam correlação espacial das variáveis submetidas ao teste.

9.1 Autocorrelação espacial do Mapeamento Climático Urbano

Para aplicação da técnica de identificação da autocorrelação espacial do UCMMap, foi realizada a estatística zonal para os limites administrativos dos bairros de Fortaleza. Dentre as tentativas realizadas, a variável que demonstrou maior representatividade foi a mediana, que foi calculada a partir das células dos pixels dentro dos limites dos bairros, sendo estabelecidos os valores centrais na tabela de atributos do arquivo vetorial.

O Índice Global de Moran para o Mapeamento Climático Urbano foi de 0.522, indicando a presença de autocorrelação espacial positiva nos dados analisados. Esse valor aponta que há uma tendência de agrupamento espacial de valores similares, ou seja, áreas próximas têm valores semelhantes. Em geral, um Índice Global de Moran de 0.522 sugere que existe uma associação espacial entre os valores da variável em análise. Áreas próximas tendem a apresentar valores similares, indicando uma possível influência espacial nos fenômenos que estão sendo observados.

Figura 137 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global do Mapeamento Climático Urbano de Fortaleza



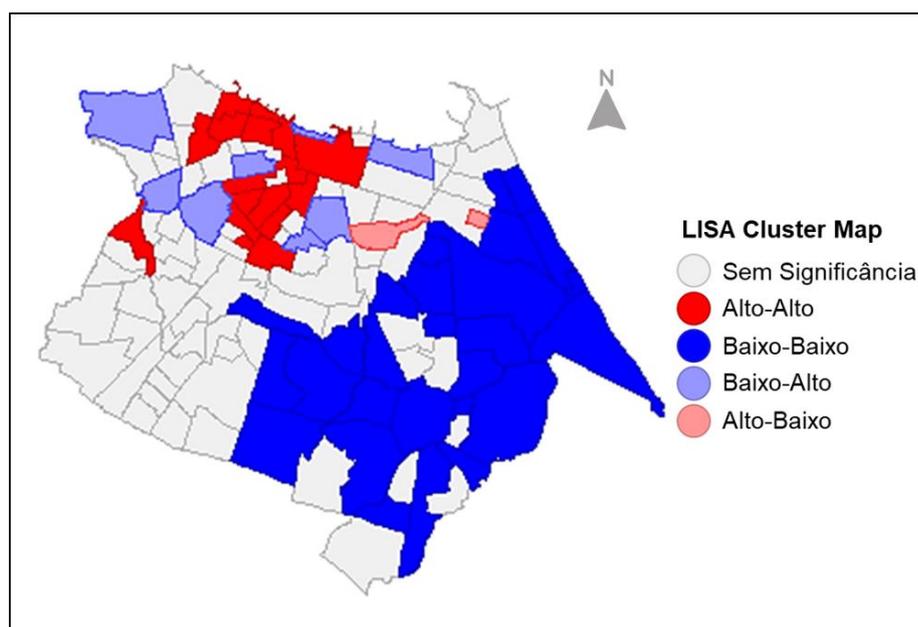
Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora o diagrama de dispersão forneça informações sobre a distribuição dos dados entre os bairros nos quadrantes, ele não permite uma

identificação geográfica dos clusters dos bairros. Para obter uma visualização espacial desses clusters, é necessário utilizar o Indicador Local de Associação Espacial (LISA). O Indicador Local de Associação Espacial (LISA) permite representar espacialmente o que está sendo mostrado no diagrama de dispersão.

Nesse contexto, a Figura 138 indica os grupos de bairros classificados em quatro categorias: Alto-Alto (vermelho escuro), bairros com altos valores de UCMaP vizinho a bairros com altos valores de UCMaP; Baixo-Baixo (azul escuro), bairros com baixos valores de UCMaP rodeados de bairros na mesma situação; Baixo-Alto (azul claro), bairros com baixos valores de UCMaP cercados de bairros com altos registros. Alto-Baixo (vermelho claro), bairros com altos valores de UCMaP rodeados por bairros com baixos valores de UCMaP.

Figura 138 – Clusters dos bairros para o Mapeamento Climático Urbano



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível perceber que, os bairros da região leste da cidade apresentam *cluster* Baixo-Baixo, onde predominam as classes mais baixas do UCMaP, que estão diretamente relacionadas ao potencial dinâmico e a circulação dos ventos, onde os elementos geográficos e urbanos contribuem para uma situação de amenização climática relacionada ao campo térmico da cidade. No setor norte/noroeste, estão os bairros que apresentaram elementos do UCMaP que contribuem para o aquecimento da atmosfera cercados por bairros com características semelhantes.

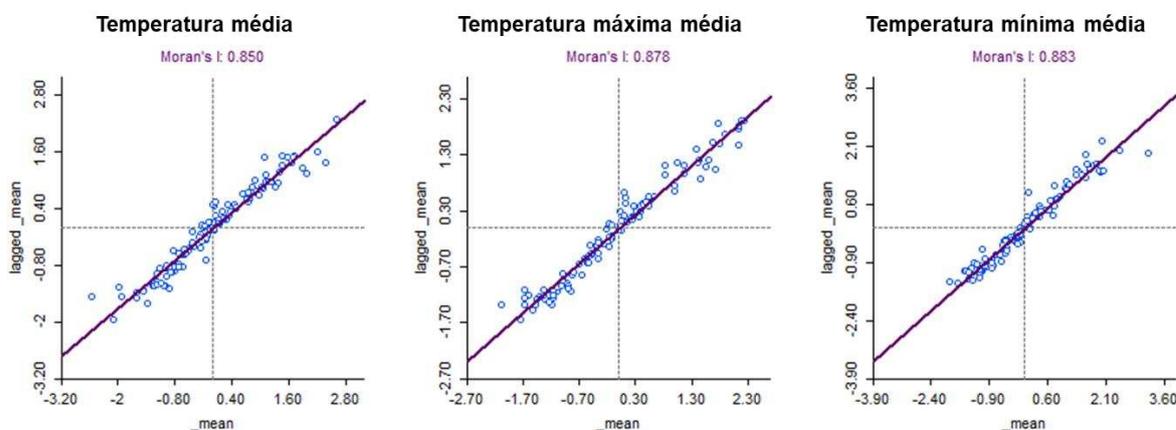
Mais isolados e em menor quantidade estão os quadrantes Alto-Baixo e Baixo-Alto, onde se observa a situação de bairros com classes de uma determinada característica, rodeados por bairros que apresentem características opostas, principalmente nas regiões norte e oeste da cidade. Os bairros em cinza representam aqueles onde não foi possível delimitar um *cluster* de correlação espacial.

9.2 Autocorrelação espacial dos dados de temperatura do ar

Para aplicação da técnica de identificação da autocorrelação espacial para os dados de temperatura do ar coletados durante a campanha de 2021/2022, foi realizado o processo de estatística zonal para os valores de temperatura média, temperatura máxima média e temperatura mínima média de todos os meses de coleta (novembro e dezembro de 2021 e janeiro, fevereiro e março de 2022). Foram agrupadas as células do *raster* de interpolação nos limites dos bairros e gerada a estatística descritiva de acordo com cada zona. Para os dados de temperatura do ar, dentre os testes realizados, os valores médios mostraram-se mais significantes para o I Global e Local de Moran.

No mês de novembro de 2021 todas as variáveis analisadas apresentaram valor do I Global de Moran superior a 0.85. Resultados acima de 0.85 no Índice Global de Moran indica uma autocorrelação espacial positiva muito forte nos dados analisados. Isso significa que há uma alta tendência de valores semelhantes se agruparem espacialmente. Áreas próximas apresentam valores similares e estão fortemente agrupadas, como é possível visualizar nos diagramas de dispersão da Figura 139.

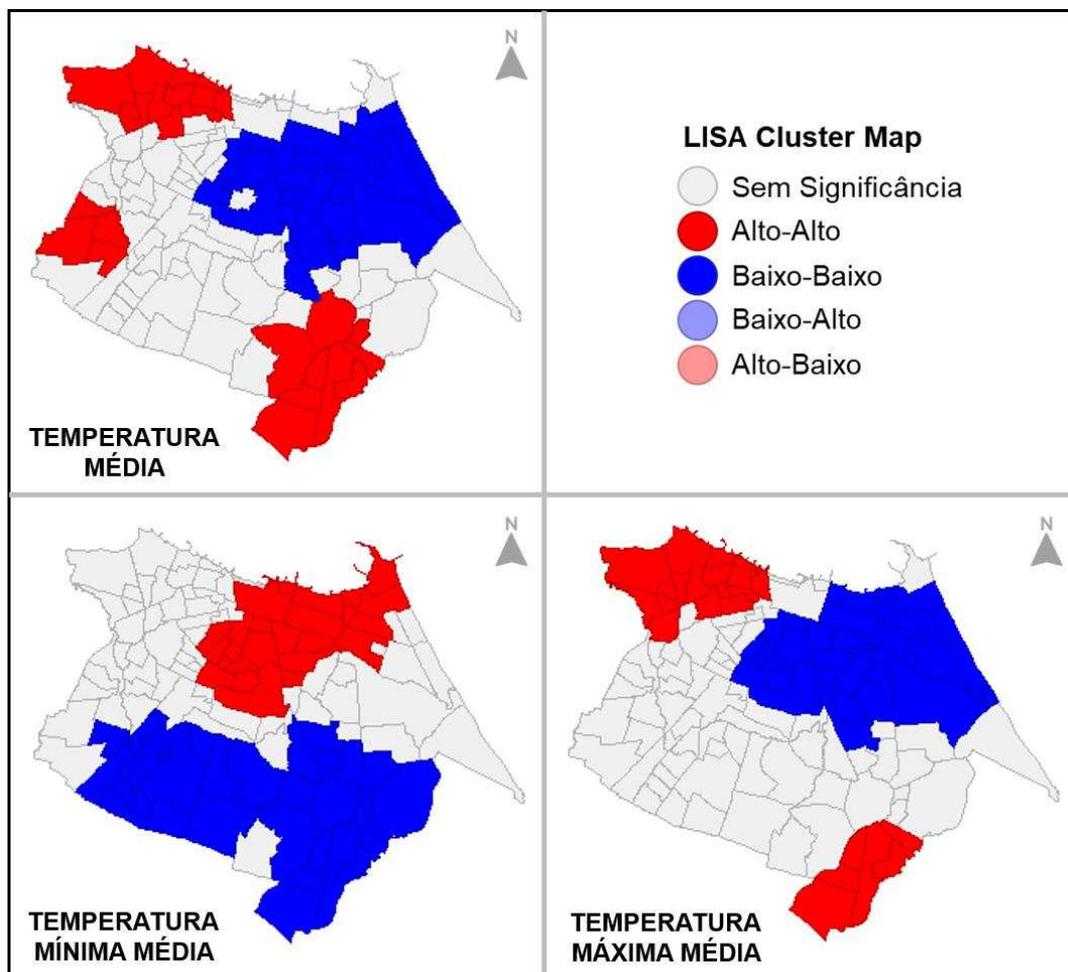
Figura 139 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de novembro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos *clusters* espaciais, é possível visualizar que em relação à temperatura média mensal, existem três grandes *clusters de padrão Alto-Alto*, um localizado no setor sul/sudeste do município, ao redor do ponto de coleta de dados do bairro Paupina, outro na região noroeste da cidade, no entorno dos pontos de Vila Velha e Álvaro Weyne, e por fim, no setor sudoeste, localizado no Grande Bom Jardim. Essas regiões apresentaram agrupamentos de bairros que registraram temperaturas médias elevadas cercados por bairros com a mesma característica. Continuando na análise da temperatura média, para o quadrante referente ao padrão Baixo-Baixo, foi verificado um grande *cluster* de correlação espacial, localizado na porção mais ao leste da cidade, incluindo as regiões do Cocó e Bairro de Fátima.

Figura 140 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de novembro de 2021



Fonte: Elaborado pelo autor.

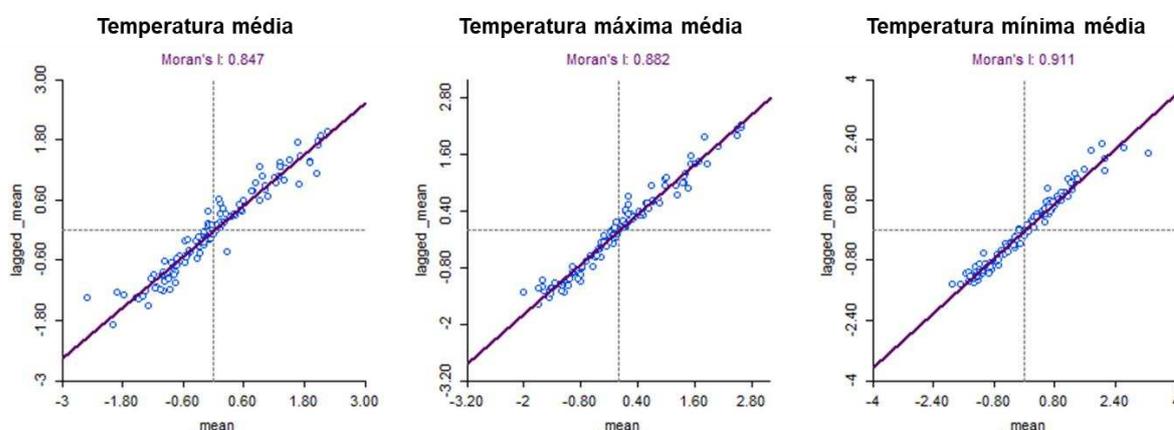
No mapa do I Global de Moran referente aos dados de temperatura máxima média, foram identificados 3 *clusters* espaciais de autocorrelação. Dois grupos de quadrante Alto-Alto foram verificados, no extremo sul e noroeste da cidade, bem semelhantes aos *clusters* de Alta-Alta identificados no mapeamento da temperatura média, com exceção do Grande Bom Jardim. Padrão semelhante ocorre com o agrupamento Baixo-Baixo, que se localiza no setor leste da cidade, coincidindo com a mesma área de *cluster* da temperatura média.

Em relação aos dados de temperatura mínima, há uma mudança no padrão de distribuição dos dados nos quadrantes de autocorrelação identificados. Percebe-se uma homogeneidade espacial em relação aos valores de temperatura mínima na região sul da cidade, onde os bairros que apresentaram temperaturas baixas estão cercados por bairros com medidas semelhantes. Já os bairros do setor

central/norte/nordeste registraram as temperaturas mínimas médias mais elevadas, cercadas por bairros com característica semelhante.

O resultado da autocorrelação espacial, através da análise do Índice Global de Moran, indica uma autocorrelação espacial positiva extremamente forte nos dados analisados. Isso significa que existe uma tendência altamente significativa de valores semelhantes se agruparem no espaço (Figura 141).

Figura 141 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de dezembro



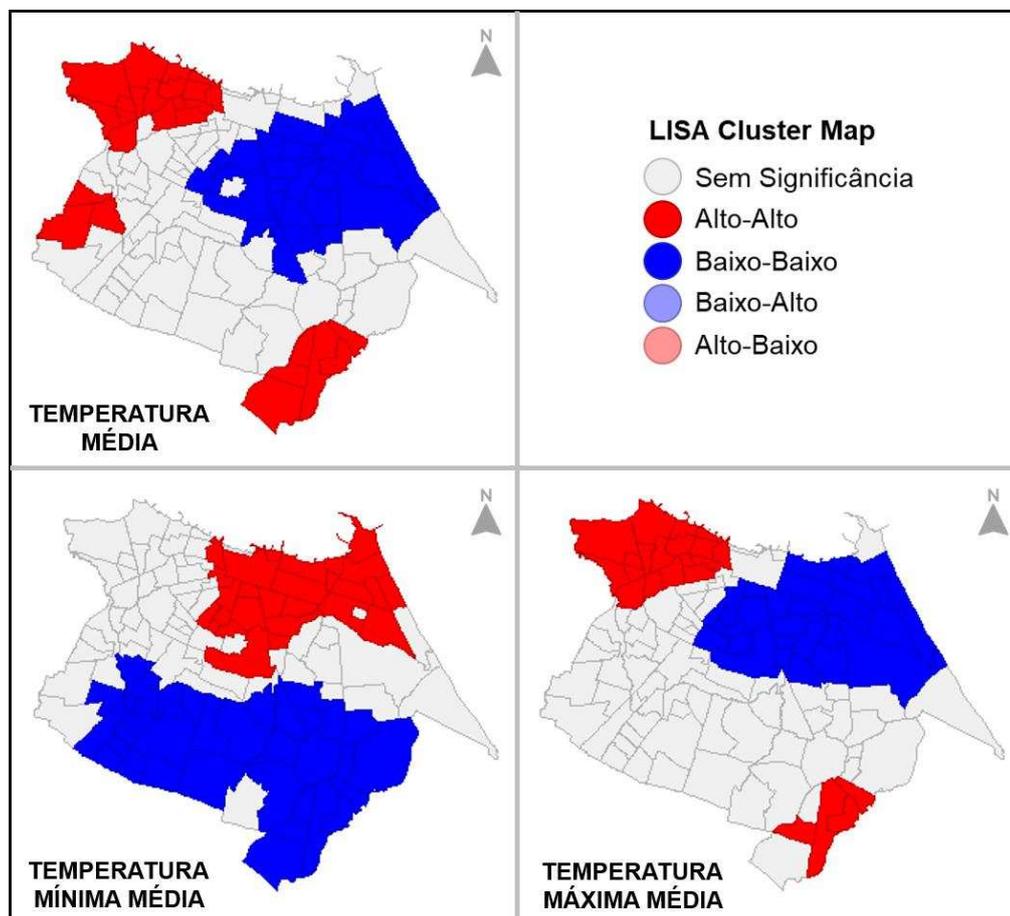
Fonte: Elaborado pelo autor.

Um índice tão alto indica uma associação espacial muito robusta entre os valores da variável em análise. Áreas próximas apresentam valores extremamente similares e estão altamente concentradas em grupos. O resultado do índice para os dados de temperatura média, máxima média e mínima média foi de 0.847, 0.882 e 0.911 respectivamente, o que indica alta correlação, sendo necessário analisar os agrupamentos gerados.

Complementando as informações do diagrama, a Figura 142 traz os mapas dos *clusters* identificados para o mês de dezembro de 2021. A configuração dos *clusters* no mês de dezembro é bem semelhante ao identificado no mês anterior. Isso se dá pela semelhança de ambos os períodos em relação à dinâmica atmosférica, onde os dois meses apresentaram estabilidade, com pouco volume de precipitação. Como é possível visualizar na Figura 142, as três regiões onde há relação Alto-Alto de temperatura média entre os bairros é a noroeste (Vila Velha e Álvaro Weyne), oeste (Bom Jardim) e sudeste (Paupina), sendo que no último a Messejana não apresentou correlação espacial. Um grande *cluster* de correlação

espacial do quadrante Baixo-Baixo é verificado na porção leste da cidade, assim como no mês anteriormente analisado.

Figura 142 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de dezembro de 2021



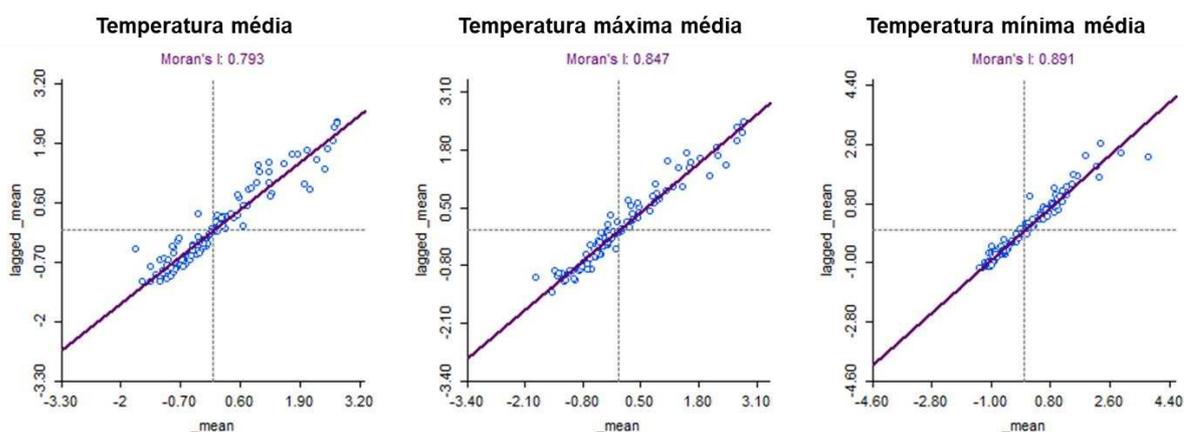
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os *clusters* identificados nos dados de temperatura máxima média e mínima média indicam comportamento semelhante aos verificados no mês anterior, onde a quantidade e localização média de agrupamentos é exatamente a mesma. Percebe-se pequenas alterações, como a presença e ausência alguns bairros, mas as regiões permanecem as mesmas, indicando um padrão para esses meses específicos, representativos do período seco, onde predominam condições de estabilidade atmosférica para a região.

O mês de janeiro, representativo da pré-estação chuvosa, registrou volumes de precipitação mais elevados que o normal para o período. Essa característica além de influenciar nos valores de temperatura do ar registrados,

também contribuiu para uma diminuição do valor do Índice de Moran Global, que mede a interdependência dos dados na escala espacial de bairros. Percebe-se que há uma diminuição do índice em relação aos meses de novembro e dezembro, principalmente na dispersão da temperatura média mensal, que pela primeira vez alcançou valores abaixo de 0,8, como é possível visualizar na Figura 143. Para a temperatura máxima média, o valor do I de Moran Global foi o mais baixo entre os meses até aqui analisados, enquanto o resultado do índice para temperatura mínima média, foi menor que em dezembro e maior que em novembro, valendo salientar que com uma variação muito pequena dos valores.

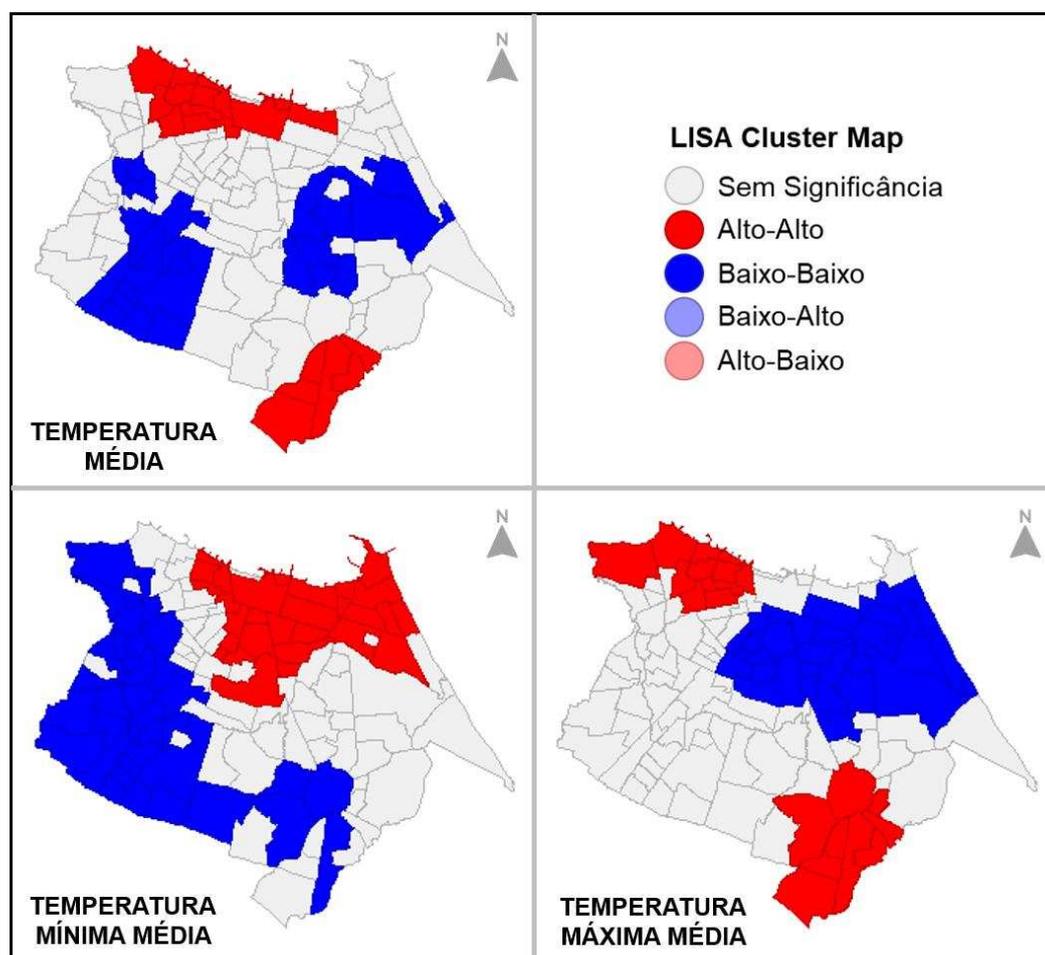
Figura 143 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de janeiro



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 144 apresenta os mapas de *clusters* identificados para o mês de janeiro de 2022, informações necessárias para compreender a autocorrelação espacial dos dados de temperatura do ar durante o mês de janeiro. De imediato, a partir da análise visual, é possível perceber que há uma mudança do padrão e localização dos *clusters* em relação aos meses representativos do período seco. Mais uma vez, a precipitação pluviométrica acima da média é o elemento dissonante para o entendimento do campo térmico nesse mês específico.

Figura 144 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de janeiro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os agrupamentos homogêneos no quadrante Alto-Alto diminuíram de três para dois, onde se mantiveram os localizados no setor noroeste/norte e extremo sul da cidade de Fortaleza. O *cluster* Alto-Alto localizado no setor sul apresentou a mesma configuração espacial em relação ao mês anterior, onde os mesmos bairros estão inseridos no agrupamento. O *cluster* Alto-Alto à noroeste/norte inclui alguns bairros da Regional 1, Regional 12 e o bairro Meireles, na Regional 2, configurando os bairros de grande densidade construtiva horizontal e vertical da cidade. O *cluster* Baixo-Baixo em relação à temperatura média também se apresentou de maneira diferenciada, quando comparado aos meses anteriores. Onde foram identificados três agrupamentos nesse quadrante, na região leste, sudoeste, e um pequeno aglomerado no setor oeste da cidade.

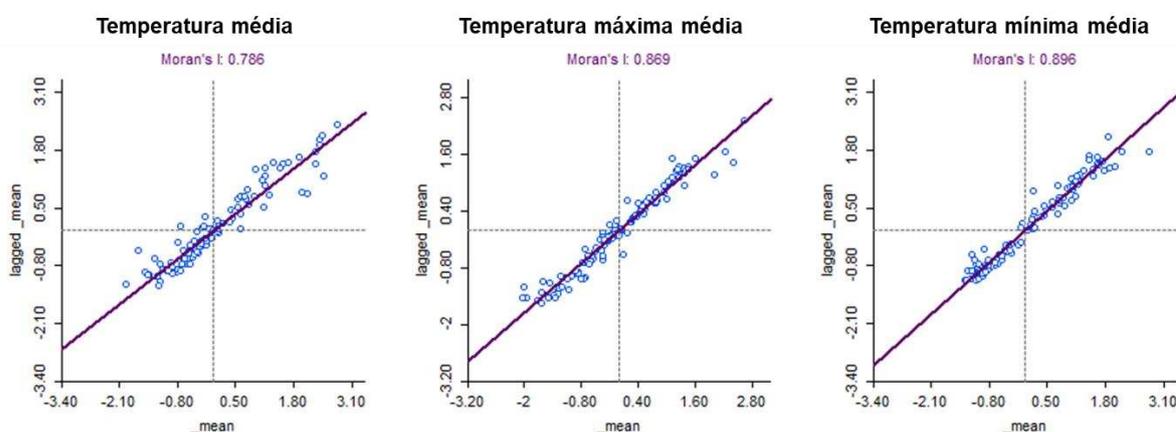
Em termos de localização, os agrupamentos de bairros em relação aos dados de temperatura máxima média, obtiveram localização geográfica semelhante

aos meses anteriormente analisados. Foram verificados dois *clusters* no quadrante Alto-Alto, à noroeste e sul da cidade, e um *cluster* Baixo-Baixo, que se estende do meio ao extremo leste do município.

Para os dados de temperatura mínima média, apesar de ter sido constatado o mesmo número de *clusters* de autocorrelação espacial para os três meses até aqui analisados, no mês de janeiro há uma expansão do *cluster* Baixo-Baixo que permeia a borda sul do município e estende-se ao setor oeste/noroeste da cidade. O agrupamento do quadrante Alto-Alto permanece à nordeste/norte, onde outros bairros são agrupados nesse *cluster*, principalmente àqueles com alta densidade edificada e populacional da Regional 1.

Apesar de registrar chuvas abaixo da média para o período, no mês de fevereiro de 2022 foram aferidos diversos dias de precipitação, característico da quadra chuvosa para a cidade de Fortaleza. Essas condições de instabilidade para o tempo atmosférico, ocasionou um comportamento do Índice de Moran Global semelhante ao mês de janeiro, cujo os volumes de precipitação pluviométrica também foram consideráveis. Como é visível nos gráficos da Figura 145, os valores referentes ao índice, apesar de sofrerem pequenas variações, estão próximos aos verificados durante o mês anterior, com destaque para o valor referente ao de temperatura média mensal, que sofreu leve declínio, enquanto os dados de temperatura máxima média e mínima média obtiveram maior autocorrelação espacial de acordo com os gráficos de dispersão apresentados.

Figura 145 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de fevereiro



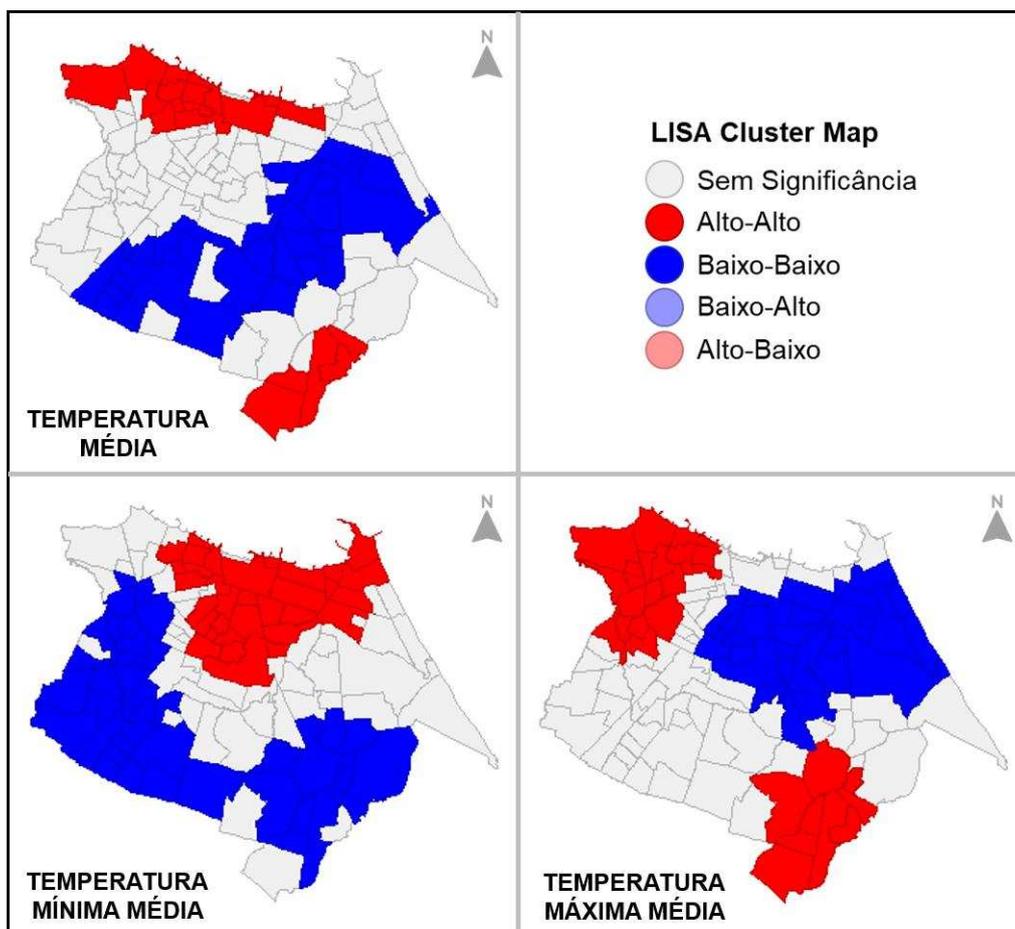
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para compreender a dependência espacial dos dados submetidos ao Índice de Moran Global, é necessário visualizar e interpretar os *clusters* de auto correlação identificados no teste LISA para o mês analisado. Nos mapas da Figura 146, encontram-se o resultado dos agrupamentos espaciais dos dados de temperatura média, temperatura máxima média e temperatura mínima média aferidos durante o mês de fevereiro de 2022.

Referente aos *clusters* do quadrante Alto-Alto, percebe-se uma semelhança evidente com o mês de janeiro, onde dois grandes agrupamentos foram identificados nas regiões noroeste/norte e extremo sul do município. É importante salientar que existem diferenças, como a inserção do bairro Vila Velha no agrupamento Alto-Alto (diferente do mês de janeiro), e a ausência do bairro Parque Santa Maria no agrupamento do extremo sul. Outra particularidade verificada no mês de fevereiro, foi o quadrante Baixo-Baixo, onde foi identificado um grande *cluster* de autocorrelação para esta categoria, unindo o setor leste e sul/sudoeste da cidade, demonstrando uma maior continuidade dessa variável no território da cidade.

Em relação aos dados de temperatura máxima média, percebe-se que existem dois grandes agrupamentos inseridos no quadrante Alto-Alto e um grande *cluster* no quadrante Baixo-Baixo. No setor noroeste e extremo sul, estão os bairros que apresentaram temperaturas máximas médias elevadas, cercados por bairros com as mesmas características, padrão espacial que se repete nos meses analisados. O agrupamento Baixo-Baixo permanece da mesma posição geográfica, os bairros com as menores temperaturas mínimas médias cercados por bairros com características térmicas semelhantes, estão concentrados na porção mais ao leste da cidade de Fortaleza.

Figura 146 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de fevereiro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

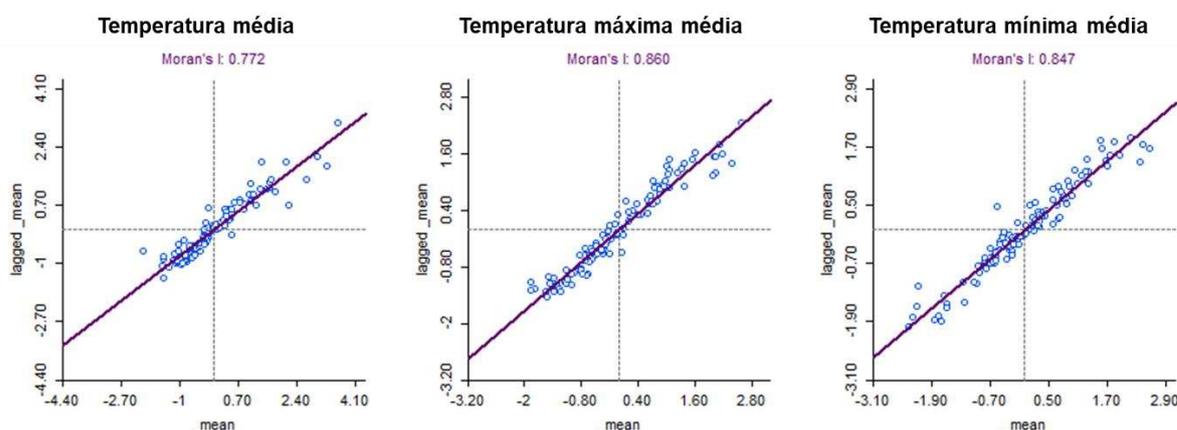
O Índice de Moran Local para os dados de temperatura mínima média indicam a presença de dois grandes *clusters* de autocorrelação espacial, em dois quadrantes distintos (Alto-Alto e Baixo-Baixo). O agrupamento inserido no quadrante Alto-Alto contempla toda a região norte da cidade, avançando para os setores oeste e leste, onde os bairros que registraram as maiores temperaturas mínimas estão circundados por bairros com características semelhantes. O *cluster* Baixo-Baixo contempla a região periférica da cidade, percorrendo a região sudeste, passando pelo sul, sudoeste e oeste do município de Fortaleza. Os padrões de agrupamentos espaciais de interdependência se assemelham com os verificados no mês de janeiro, por apresentarem condições atmosféricas causadoras de instabilidade.

Através da análise dos diagramas de dispersão do Índice de Moran Global ilustrados na Figura 147, é possível afirmar que, a precipitação pluviométrica interfere diretamente na autocorrelação espacial dos dados aferidos. Seguindo os padrões já identificados, percebe-se que a presença de chuva altera o resultado do

índice, onde os valores diminuem conforme há precipitação.

Para o mês de março de 2022, onde a precipitação foi cerca de 77% acima da média histórica para esse mês, e foi o mais chuvoso dentre os cinco meses analisados, constatou-se uma diminuição do valor do I de Moran Global em todas as médias de temperatura avaliadas. Em relação à temperatura média, o índice para o mês de março foi o mais baixo dentre os meses anteriormente descritos, com um valor de 0.772. A temperatura máxima e mínima média também apresentaram declínio em relação ao índice, essa última também registrou o valor mais baixo dentro de todo o período de coleta de dados.

Figura 147 – Diagrama de dispersão do I de Moran Global para as médias de temperatura do mês de março

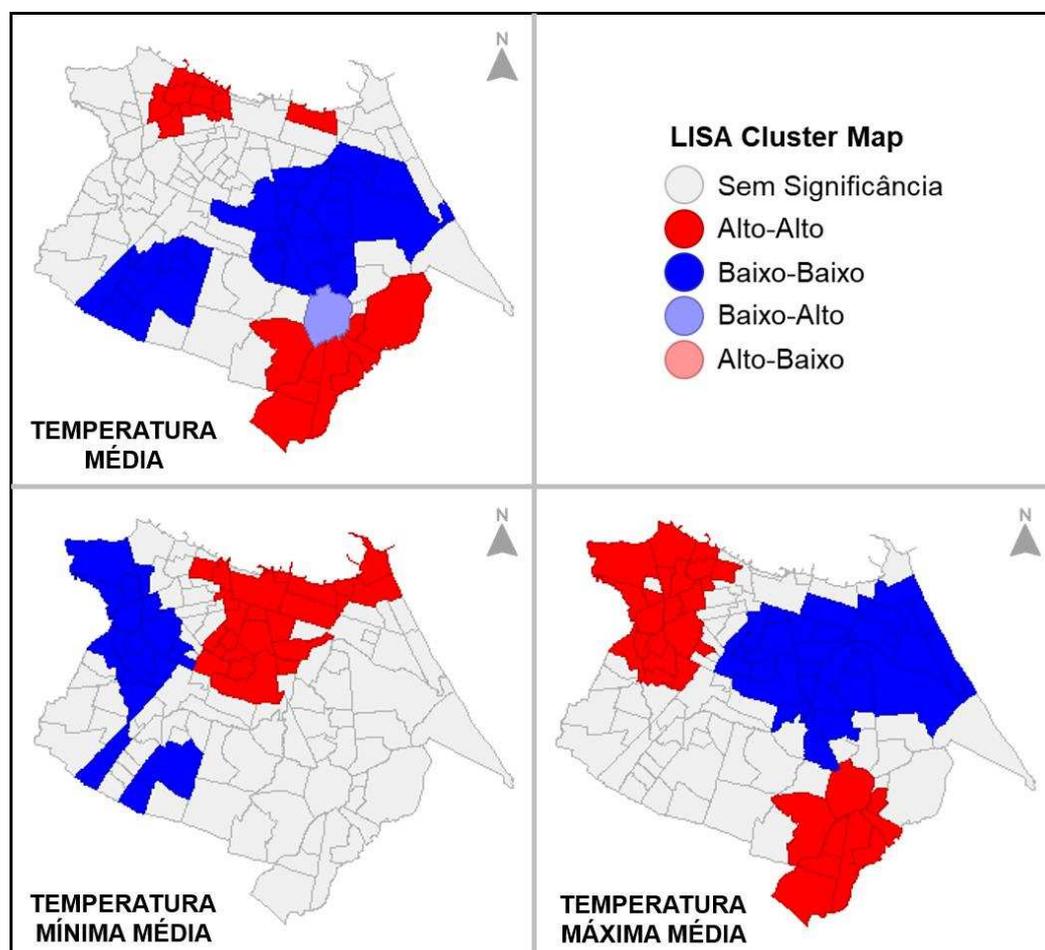


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em março de 2022 foram verificadas situações singulares em relação aos *clusters* do Índice de Moran Local, com o surgimento de um novo quadrante e modificação nos padrões de correlação espacial entre os bairros, como é possível visualizar através da Figura 148. No Mapa referente à temperatura média, é perceptível a presença de três agrupamentos de autocorrelação espacial no quadrante Alto-Alto. A maior região homogênea está localizada no extremo sul do município, nas proximidades do ponto da Paupina. Outro importante *cluster* Alto-Alto está geograficamente localizado na porção noroeste da cidade, nas proximidades do ponto de coleta de dados do Álvaro Weyne, situação que se repete nos outros meses avaliados. O diferencial de março de 2022 foi o bairro Meireles, que se apresentou como um *cluster* isolado dos restantes, configurando um bairro de alta

temperatura cercado por bairros de alta temperatura, no entanto, sem característica de continuidade.

Figura 148 – Clusters dos bairros para as temperaturas médias de março de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram identificados a partir dos dados de temperatura média, dois argumentos no quadrante Baixo-Baixo, onde os bairros que registraram temperaturas médias mais amenas estão cercados por bairros de mesma característica térmica. O setor leste e sudoeste do município, mais uma vez (no período chuvoso) apresentaram-se como as regiões onde os bairros constituem-se nesse padrão do quadrante Baixo-Baixo. Nesse mês, é verificado um *cluster* referente ao quadrante Baixo-Alto, onde o bairro de Messejana registrou temperaturas médias mais amenas, mesmo rodeado por bairros com altas temperaturas médias.

Na mesma figura, observa-se que o comportamento dos agrupamentos

de bairros com autocorrelação para os dados de temperatura máxima média, é muito semelhante ao apresentado nos outros meses anteriormente analisados, com dois *clusters* no quadrante Alto-Alto, onde os bairros das regiões oeste/noroeste e extremo sul foram os que registraram temperaturas máximas médias elevadas, circundados por bairros de característica semelhante. O *cluster* no quadrante Baixo-Baixo também obedece a mesma localização geográfica, da região central até o setor mais ao leste do município.

Referente ao resultado do Índice de Moran Local para os dados de temperatura mínima média, são verificados três *clusters* de autocorrelação, dois no quadrante Baixo-Baixo e um no quadrante Alto-Alto. Apesar de ter sua continuidade interrompida, nota-se que os bairros que registraram temperaturas mínimas médias mais baixas, rodeados por bairros semelhantes estão concentrados à oeste da cidade. Já os bairros com maior temperatura mínima média cercados por bairros com características semelhantes estão geograficamente localizados geograficamente no centro, norte e nordeste do município, coincidindo com a região mais urbanizada da cidade.

10 INDICAÇÃO DE ÁREAS PRIRITÁRIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE AÇÕES DE MITIGAÇÃO DOS EFEITOS CLIMÁTICOS

Entende-se, através da análise estatística das tendências, que o município de Fortaleza se encontra em uma situação de eminente transformação climática, onde os elementos que caracterizam o clima da cidade mudaram no decorrer do tempo e tendem a continuar mudando de acordo com as transformações locais e até mesmo as mudanças climáticas globais.

Portanto, é necessário que o poder público esteja munido de estudos que embasem estratégias de implementação de ações, que minimizem os efeitos dessas mudanças ao longo do tempo. Para tanto, é necessário que ocorra a indicação de áreas prioritárias para a condução de projetos e programas em diferentes níveis de gestão, onde possam ser direcionadas as ações ideais para cada área de acordo com suas características urbanísticas e climáticas locais, tendo em vista a aplicabilidade e sobretudo os resultados satisfatórios esperados de cada ação em cada área/bairro/regional especificamente.

Entendendo que ações de mitigação dos efeitos climáticos na cidade envolvem diretamente as diretrizes de planejamento urbano, é necessário utilizar além dos dados climáticos coletados (no caso do campo térmico, a temperatura do ar), apropriar-se dos elementos urbanos que interferem para a modificação do clima e caracterizam os diferentes ambientes citadinos. Sendo assim, para a proposição da metodologia de indicação de área prioritárias para a implementação de ações de mitigação dos efeitos climáticas serão utilizados os dados de temperatura do ar coletados em campo (de novembro de 2021 à março de 2022) e também o resultado do Mapeamento Climático Urbano (UCMap), que é o resultado dos atributos de uso e ocupação do solo urbano que interferem diretamente para a dinâmica climática local, baseada no potencial dinâmico e no potencial de carga térmica da cidade.

Os dados de temperatura do ar e o UCMap passaram pelo Índice de Moran, o que resultou em *clusters* espaciais de bairros que apresentaram características homogêneas, ou não, referentes a cada variável. Partindo do pré suposto que as áreas que partilham características semelhantes em relação a alguma variável, estão propensas a sentirem os efeitos (negativos ou positivos) gerados por ela com maior intensidade. Sendo assim, os resultados dos Índices de Moran Global e Local foram utilizados no estabelecimento dos indicadores utilizados

para gerar o mapeamento final de indicação.

Foi estabelecida uma matriz de valores com base nos quadrantes indicados pelo Índice de Moran. Onde foram indicados números de 0 a 4 a partir da prioridade de ação em cada quadrante. Como é possível visualizar na Tabela 6, para os bairros inseridos no quadrante Baixo-Baixo foi atribuído valor 0, pois os menos apresentam homogeneidade de temperatura mais amena ou atributos de uso e ocupação que contribuem para o potencial dinâmico. Para o quadrante Baixo-Alto, foi atribuído valor 1, já que apesar de registrar atributos mais amenos, este é cercado por áreas mais problemáticas, sendo necessária mais atenção em relação às ações a serem implementadas. No quadrante Sem Significância, foi atribuído valor 2, já que os bairros que os bairros não apresentam características contínuas de regiões amenas ou com cargas térmicas elevadas, podendo gerar riscos futuros para os próprios bairros e seus entornos. Para os bairros inseridos no quadrante Alto-Baixo, foi atribuído valor 3, já que apesar de estarem rodeados por bairros de características menos problemáticas, podem contribuir, localmente e regionalmente, para a intensificação das adversidades térmicas. Por fim, o quadrante Alto-Alto recebe o maior valor atribuído (4), pois são os bairros com características adversas mais marcantes, rodeados por bairros de características semelhantes, gerando condições problemáticas tanto locais, como podendo interferir em outras escalas de análise.

Tabela 6 – Matriz de valores atribuídos a cada quadrante

Quadrante	Valor atribuído
Alto-Alto	4
Alto-Baixo	3
Sem Significância	2
Baixo-Alto	1
Baixo-Baixo	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da definição do valor de cada classe, foi necessário atribuir no arquivo vetorial referente às camadas utilizadas, na tabela de atributos, cada valor definido. Para o mapeamento final de áreas prioritárias foram utilizadas duas camadas, o Mapeamento Climático Urbano, que é composto por apenas um arquivo vetorial, e também o resultado da campanha de coleta de dados de temperatura do

ar (dos meses de novembro de 2021 até março de 2022). Foram considerados para o indicador, todas as especializações geradas pela campanha, de todos os meses analisados e todas as variáveis (temperatura média, temperatura máxima média e temperatura mínima média).

Para elaborar a camada referente ao campo térmico, foi necessário realizar uma síntese dos dados, através de uma matriz de pesos, onde foram consideradas todas as variáveis em todo o período analisado. Através da análise do teste do coeficiente de correlação de Pearson, foram atribuídos os pesos para os meses de coleta, onde as maiores interdependências receberam os maiores pesos e as menores interdependências os menores pesos. Também foram diferenciados os pesos em relação as variáveis de temperatura coletadas (temperatura média, máxima média e mínima média), as quais foi atribuído o maior peso para temperatura média, por ser o resultado das outras duas variáveis, seguido diretamente pela temperatura máxima média, por terem sido observados picos extremos, e o menor peso foi referido à temperatura mínima média, por ter um grau de homogeneidade maior. Para definição da camada referente ao campo térmico foi utilizada a seguinte equação matemática:

$$ICT = \frac{((5 * (3 * N_{tm} + 2 * N_{tmm} + N_{tmn})) + (4 * (3 * D_{tm} + 2 * D_{tmm} + D_{tmn})) + (3 * (3 * M_{tm} + 2 * M_{tmm} + M_{tmn})) + (2 * (3 * F_{tm} + 2 * F_{tmm} + F_{tmn})) + (3 * J_{tm} + 2 * J_{tmm} + J_{tmn}))}{n}$$

Onde,

ICT = indicador do campo térmico

N = mês de novembro

D = mês de dezembro

J = mês de janeiro

F = mês de fevereiro

M = mês de março

t_m = temperatura média

t_{mm} = temperatura máxima média

t_{mn} = temperatura mínima média

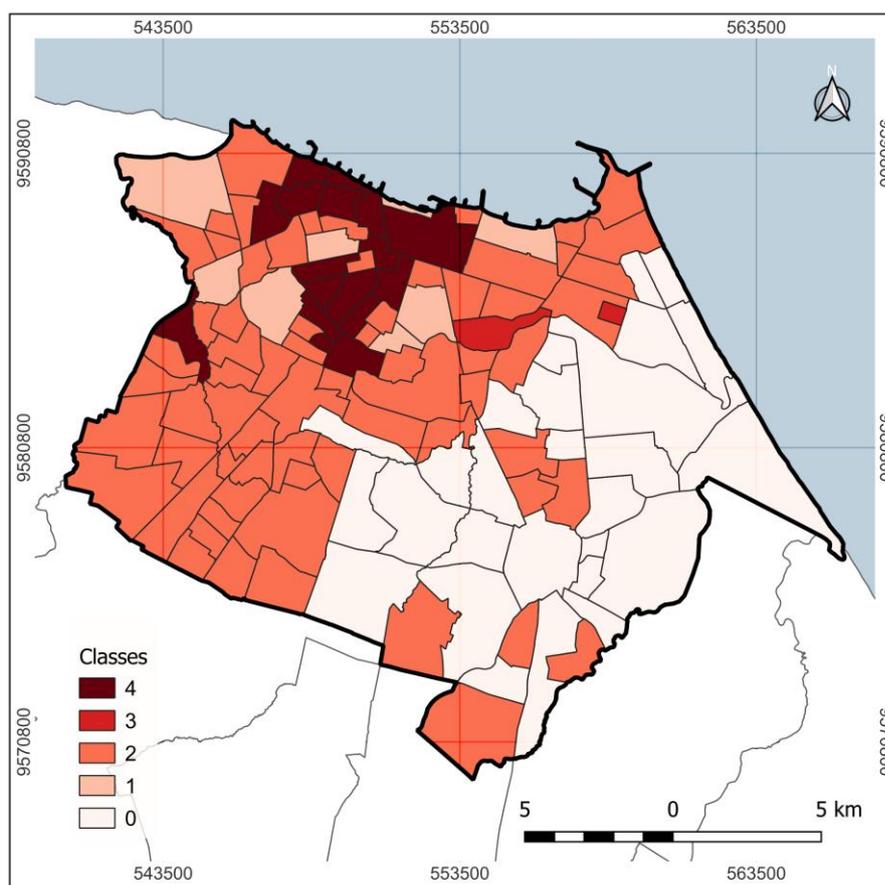
n = quantidade total da amostra

Sendo assim, a camada referente ao campo térmico, é resultado da

operação matemática que envolve todos os meses de coleta de dados de temperatura do ar e todas as variáveis coletadas e tratadas estatisticamente, resultado do índice de Moran Local, e os *clusters* de autocorrelação identificados e descritos na sessão anterior.

Considerando o exposto anteriormente, esta sessão apresenta as duas camadas utilizadas para gerar o mapa de indicação de áreas prioritárias para implementação de estruturas e ações de mitigação dos efeitos climáticos. A primeira camada é composta pela reclassificação do resultado do Índice de Moran Local para as classes do Mapeamento Climático Urbano do município de Fortaleza, como é possível visualizar na Figura 149. Ao analisar o mapa, percebe-se que na porção noroeste e oeste da cidade, estão os bairros que apresentaram classe de valor 4, sendo eles: Álvaro Weyne, Jacarecanga, Carlito Pamplona, Cristo Redentor, Pirambu, Floresta, Bela Vista, Parquelândia, Amadeu Furtado, Couto Fernandes, Montese, Benfica, Genibaú, Rodolfo Teófilo, Farias Brito, Damas e Centro.

Figura 149 – Camada UCMMap reclassificada



Fonte: Elaborado pelo autor.

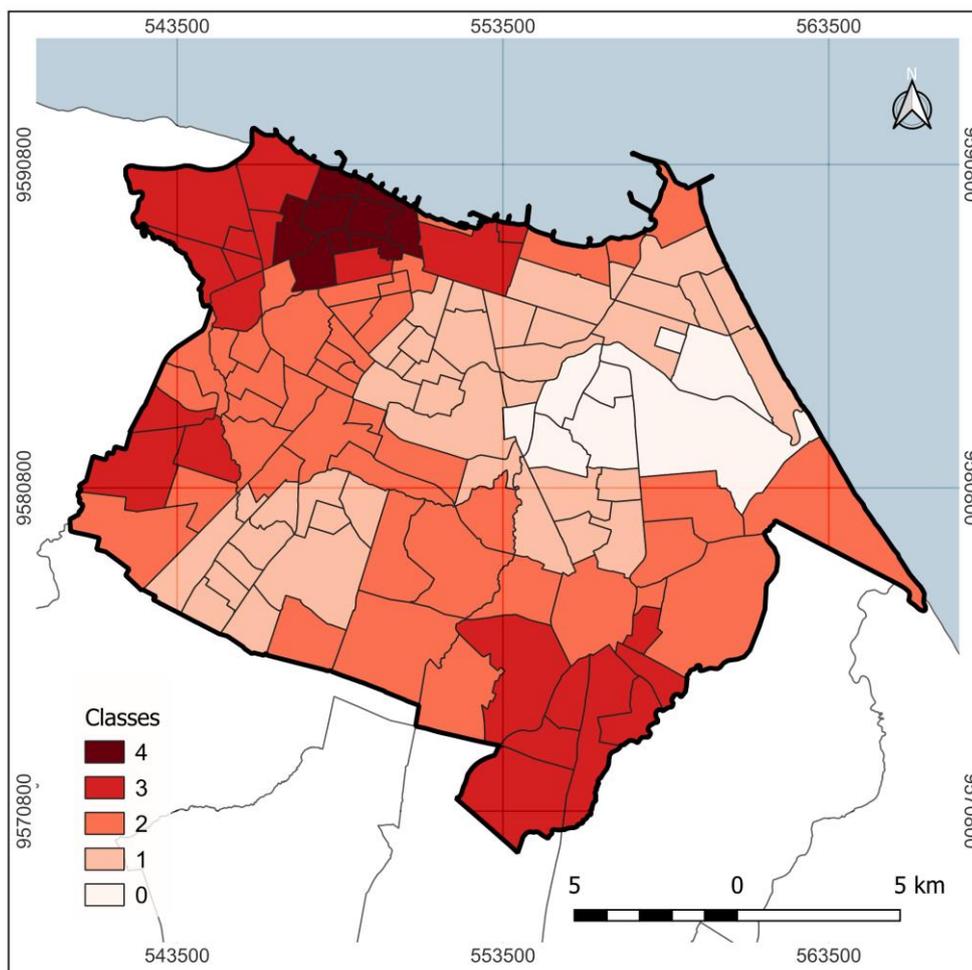
Esses bairros constituem-se naqueles que apresentaram altas medianas do mapeamento climático urbano rodeados por bairros de características semelhantes, esses bairros possuem forte influência do alto volume edificado e baixa cobertura vegetal, o que fez com que alcançassem classes elevadas de UCMaP. A classe 3 é constituída por dois bairros, Cidade 2000 e Tauape, onde ambos possuem altas classes do UCMaP cercados por bairros que apresentam baixas classes.

Grande parte da cidade está inserida no contexto da classe 2, onde são os bairros caracterizados por medianas de classes intermediárias do UCMaP, com potencial de carga térmica elevados e certa cobertura de elementos que beneficiam à circulação dos ventos e arrefecimento da atmosfera urbana. A classe 1 é composta pelos bairros Antônio Bezerra, São Gerardo, Meireles, Vila Velha, Pici, Parreão, Bairro de Fátima e Moura Brasil. A qual é constituída pelos bairros que tiveram classes medianas/baixas de UCMaP. Já os bairros com as menores classes de UCMaP circundados por bairros também com essa característica, receberam classificação 0, majoritariamente na porção leste/sul da cidade, são àqueles que são menos prejudicados pelas estruturas urbanas, mantendo ainda muitas características benéficas à circulação dos ventos e arrefecimento da atmosfera urbana.

A outra camada utilizada para gerar o mapa final de sugestão de áreas prioritárias está relacionada às interpolações geradas pela campanha de coleta de dados de temperatura do ar e seus respectivos resultados ao Índice de Moran Local, com base na operação matemática anteriormente descrita.

A Figura 150 apresenta o resultado da operação matemática e reclassificação para a Camada referente à temperatura do ar de Fortaleza. Nela é possível visualizar que a classe 4 concentra-se na porção noroeste do município de Fortaleza, composta pelos bairros Álvaro Weyne, Jacarecanga, Carlito Pamplona, Cristo Redentor, Pirambu, Floresta, Ellery, Monte Castelo e Presidente Kennedy. Nesses bairros, considerando a síntese dos meses analisados, percebe-se uma situação mais crítica em relação às altas temperaturas do ar, tanto no período seco, como no período chuvoso.

Figura 150 – Camada da temperatura do ar reclassificada



Fonte: Elaborado pelo autor.

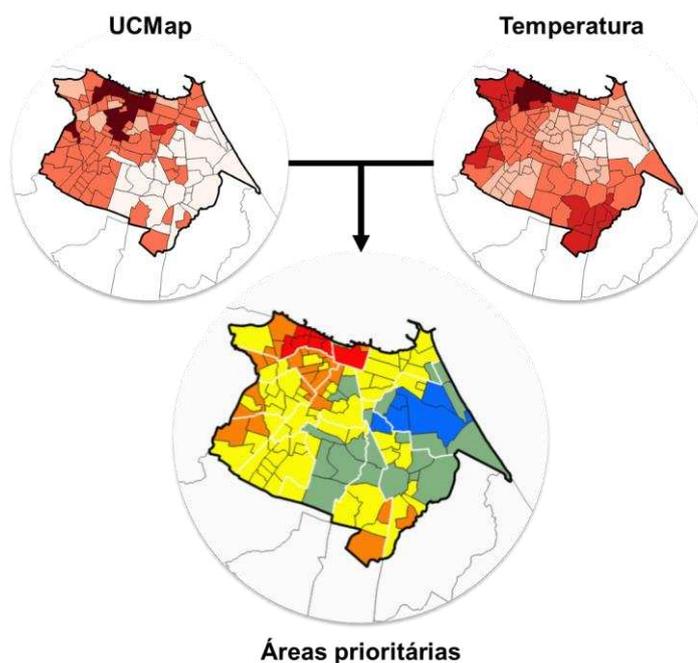
Os bairros inseridos na classe 3 foram: Antônio Bezerra, Quintino Cunha, São Gerardo, Jardim Guanabara, Jardim Iracema, Barra do Ceará, Vila Velha, Olavo Oliveira, Granja Lisboa, Granja Portugal, Ancuri, Coaçu, São Bento, Paupina, Parque Santa Maria, Guajeru, Conjunto Ceará II, Jangurussu, Pedras, Praia de Iracema e Centro. Esses bairros também registraram temperaturas elevadas nos meses analisados. As classes 2 e 1 são as mais representativas, em termos de quantidade de bairros, integrando 43 e 40 bairros, respectivamente. A classe 2 representa os bairros que obtiveram menor autocorrelação espacial em relação aos dados de temperatura média, máxima média e mínima média nos meses analisados, variando a configuração no decorrer do tempo e espaço.

A classe 0 representa os bairros com alta inter-relação, dentro do quadrante Baixo-Baixo, considerando a equação que sintetizou todos os meses de coleta de dados e que foram submetidos ao teste do Índice de Moran Local. Os

bairros que integram essa classe são: Cidade 2000, Manuel Dias Branco, Engenheiro Luciano Cavalcante, Guararapes, Salinas, Jardim das Oliveiras, Edson Queiroz e Aerolândia.

A operação de cálculo do indicador que definiu a prioridade para a implementação de ações de mitigação, teve origem nas duas camadas descritas anteriormente, e foi executada através do *software* SIG QGIS 3.30. Levando em consideração, o Mapeamento Climático Urbano aborda os aspectos locais que interferem diretamente no campo térmico da cidade e as temperaturas aferidas durante o período analisado, que reflete a realidade do campo térmico do município, foram estabelecidos pesos iguais para as duas camadas, que somadas resultaram no Mapa de Indicação de Áreas Prioritárias para Implementação de Ações de Mitigação aos Efeitos Climáticos (Figura 151).

Figura 151 – Esquema de construção do Mapa de Indicação de Áreas Prioritárias para Implementação de Ações de Mitigação aos Efeitos Climáticos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando o Mapa de Indicação de Áreas Prioritárias para Implementação de Ações de Mitigação aos Efeitos Climáticos (Figura 152), é possível perceber a presença de 5 classes, conforme o resultado da operação

síntese das duas camadas vetoriais utilizadas (UCMap e temperatura). Tendo em vista que as temperaturas aferidas no município de Fortaleza, em todos os períodos analisados, mostraram-se elevadas, decidiu-se por definir todas as classes como prioritárias. No entanto, o grau de prioridade e o tipo de ação se diferencia de acordo com a posição do bairro em relação às classes do mapa.

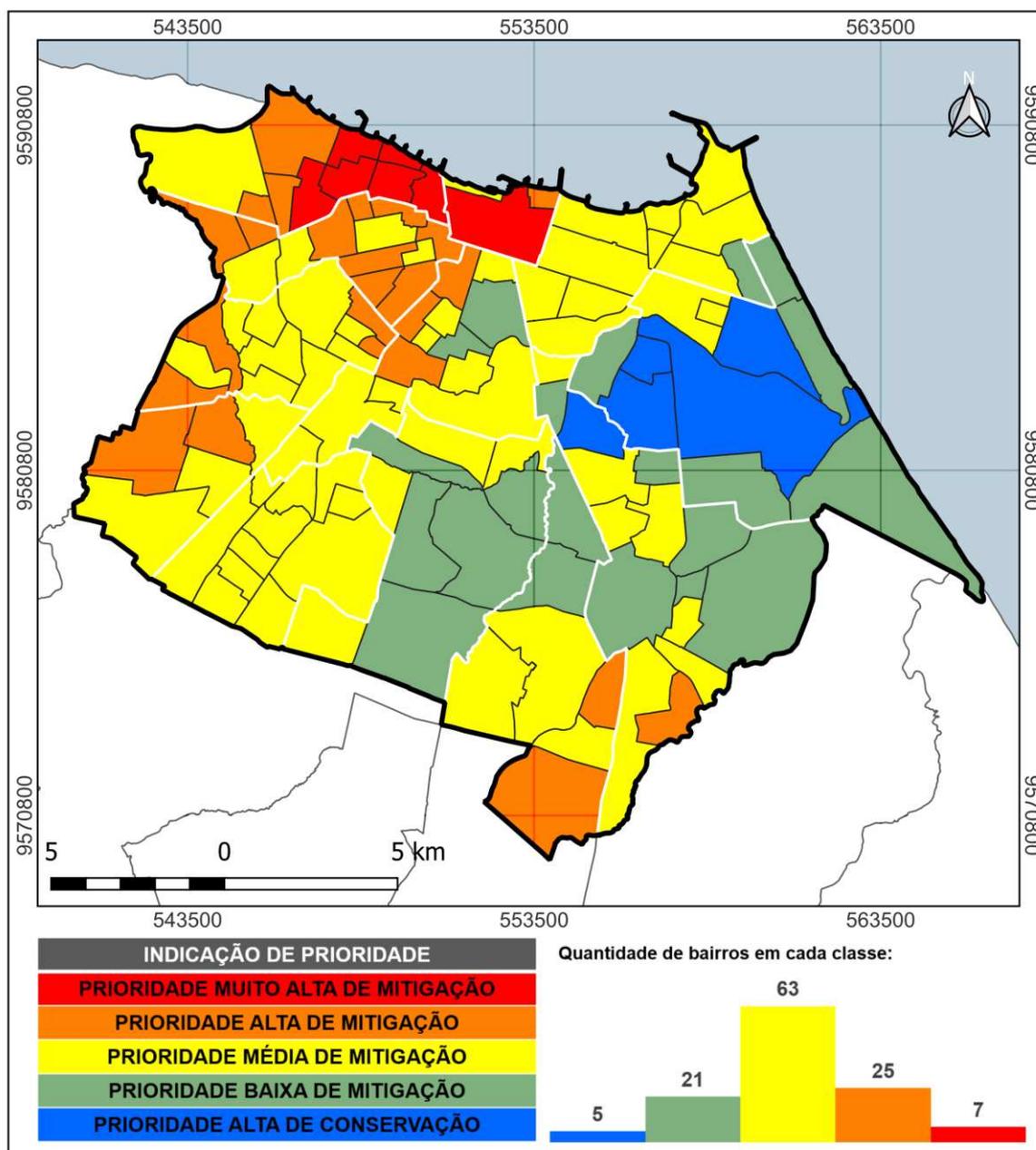
A primeira classe, na cor azul, representa os bairros com prioridade alta para ações de conservação, ou seja, os recursos e ambientes naturais presentes nessas localidades devem ser preservadas, a fim de manter as características de uso e ocupação do solo que contribuam para o potencial dinâmico e arrefecimento da atmosfera, vide que nessa região estão os bairros que registraram as menores temperaturas no decorrer dos meses analisados, além de apresentarem, de acordo com a análise do UCMap, características geográficas e urbanas que beneficiam condições térmicas favoráveis.

Na segunda classe, representada pela cor verde, estão inseridos os bairros de baixa prioridade de implementação de ações e medidas mitigadoras, pois, apresentaram temperaturas mais amenas, em comparação com os outros bairros do município, além de manterem características de cobertura do solo que propiciam um maior potencial dinâmico, no entanto, por estarem em áreas urbanizadas devem ser atendidos por medidas mitigadoras para evitar que a condição térmica evolua no decorrer do tempo, em consequência da urbanização ou mudanças climáticas.

Em amarelo, estão os bairros localizados na terceira classe, com prioridade média na implementação de estruturas e medidas mitigadoras dos efeitos climáticos adversos. Essa região é composta por bairros dos mais diferentes padrões de uso e ocupação, onde não homogeneidade nas características de uso e ocupação do solo, com destaque para a grande densidade de edificações e uso de materiais construtivos que contribuem para o aquecimento da atmosfera urbana.

A quarta classe, representada no mapa pela cor laranja, está relacionada aos bairros de alta prioridade, no que se refere à implantação de medidas e ações capazes de atenuar as condições térmicas adversas. Composta majoritariamente por bairros periféricos, onde o padrão construtivo é altamente propício ao aquecimento da atmosfera urbana, essa classe deve ser vista como altamente prioritária, pois o planejamento urbano (ou a falta dele) que contribuiu para a evolução dessa situação, deve ser considerado como ponto crucial para o impedimento de problemas mais graves para essas populações.

Figura 152 – Mapa de Indicação de Áreas Prioritárias para Implementação de Ações de Mitigação aos Efeitos Climáticos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A última classe, representada pela cor vermelha, contempla os bairros onde a prioridade para implantação de medidas mitigadoras é muito alta, tendo em vista a síntese das camadas analisadas. Essa classe é constituída por localidades que registraram temperaturas elevadas em praticamente todos os meses

analisados, além de estarem em ambientes totalmente urbanizados e adensados, onde a escassez de cobertura vegetal e elementos arrefecedores faz com que o risco climático nesses bairros seja maior.

Dentre os sete bairros inseridos na classe de prioridade mais alta, seis localizam-se na Regional Administrativa 1, sendo fundamental e urgente a implementação de ações e infraestruturas (a exemplo das infraestruturas verdes) que mitiguem os efeitos térmicos negativos, provenientes da altíssima densidade populacional, que gera alta demanda por aparelhos urbanos, que resultaram em um ambiente altamente adensado por edificações, com ausência de espaços verdes, abertos e naturais, o que causa temperaturas extremas e que prejudicam a vida dos cidadãos que vivem nessa região.

O centro da cidade, localizado na Regional Administrativa 12, é o único bairro de maior prioridade localizado fora da Regional 1, no entanto, encontra-se limítrofe com essa regional. Por se tratar no centro comercial da cidade de Fortaleza, o bairro Centro tem característica predominantemente edificado, com presença de pequenas praças e edificações de gabarito médio, até 10 pavimentos, contribuindo para que haja situação de estresse térmico nessa região.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O clima da cidade de Fortaleza está passando por diversas alterações no decorrer do tempo, com base nas análises realizadas, pode-se concluir que as variáveis climatológicas da cidade de Fortaleza apresentam tendências significativas ao longo dos anos, como indicado pelos valores de Z do teste de Mann-Kendall. A análise da temperatura média anual mostrou uma tendência de aumento gradual ao longo do tempo, com o coeficiente de determinação baixo, sugerindo a influência de outros fatores, além do tempo, são responsáveis pelas mudanças identificadas.

Quanto à temperatura máxima média, houve uma pequena variação ao longo do período, com uma tendência leve ao aumento. A umidade relativa do ar apresentou uma tendência decrescente ao longo dos anos, em oposição à tendência de aumento da temperatura. Isso pode ser explicado pela relação entre umidade e temperatura, em que a capacidade do ar de reter vapor de água aumenta com o aumento da temperatura. A velocidade média do vento mostrou uma tendência de declínio ao longo do período analisado. A precipitação apresentou alta variabilidade interanual e intra-anual, com períodos secos e úmidos.

A análise estatística utilizando o teste de Mann-Kendall confirmou algumas tendências observadas. A temperatura média anual apresentou uma tendência significativa e crescente, principalmente a partir de março. As temperaturas máximas e mínimas médias também mostraram tendências crescentes em diferentes meses, com os meses de solstício de inverno apresentando as maiores tendências.

Em resumo, a análise dos dados indicou um aumento gradual na temperatura média anual e nas temperaturas máximas e mínimas médias em Fortaleza ao longo do tempo. A umidade relativa do ar e a velocidade do vento mostraram tendências decrescentes, enquanto a precipitação apresentou alta variabilidade. Portanto, conclui-se que outros fatores além do tempo, influenciaram diretamente essas tendências.

A partir dos resultados do Teste de Pettitt é possível concluir que, as temperaturas médias anuais, tiveram um pico no ano de 1995, sugerindo uma alteração significativa na série temporal nesse período. As médias mensais também mostraram mudanças significativas em diferentes meses ao longo do tempo. A temperatura máxima média anual apresentou um aumento abrupto após 1995,

indicando uma mudança significativa nesse período. As médias mensais das temperaturas máximas também mostraram mudanças bruscas em diferentes meses a partir de 1990. Já a temperatura mínima média anual não apresentou mudanças significativas, embora tenha sido observada uma pequena mudança em 2000.

A umidade relativa do ar apresentou uma tendência significativa de decréscimo ao longo do tempo, com uma mudança no padrão da tendência em meados de 1987. A velocidade do vento também apresentou uma diminuição significativa a partir de 2002. No entanto, o teste de Pettitt não identificou mudanças significativas nos meses de fevereiro a junho para ambas as variáveis. Quanto à precipitação pluviométrica, não foram identificadas mudanças significativas ao longo do tempo, nem nos valores anuais nem nos valores mensais.

Com base nos resultados obtidos através das análises estatísticas é possível concluir que, o clima da cidade de Fortaleza vem mudando no decorrer dos anos, principalmente depois da década de 1990, com a consolidação da urbanização do município. Essas mudanças foram provocadas principalmente pelas alterações nos padrões de uso e ocupação do solo, resultado da descaracterização da paisagem primitiva e substituição por materiais que contribuem para o aquecimento da atmosfera.

A análise do UCMa por região permitiu uma compreensão detalhada da distribuição espacial das classes e seu impacto no conforto térmico e clima nas diferentes áreas de Fortaleza, revelando informações importantes sobre cada região, destacando as classes predominantes e sua relevância para o clima local.

Percebe-se a cidade de Fortaleza apresenta características predominantemente urbanas, o que contribui diretamente para o ganho de calor e potencial carga térmica nos bairros da cidade. No entanto, é importante destacar que, as características geográficas da cidade, principalmente relacionadas à proximidade com o mar, ao sistema de brisa, às drenagem e áreas verdes, contribuem para o potencial dinâmico na cidade e a circulação dos ventos, evitando que as condições térmicas se agravem.

As classes do UCMa apresentaram-se de maneira heterogênea no território da cidade, ou seja, determinadas áreas estão inseridas em ambientes mais problemáticos em relação ao potencial impacto da carga térmica no conforto da cidade. Dentre as regionais administrativas do município de Fortaleza, algumas apresentaram maior porcentagem das classes 6, 7 e 8 do UCMa, que são as que

possuem os maiores impactos negativos, onde o conforto térmico já é prejudicado nas áreas em questão. As Regionais Administrativas 1, 3, 4, 11 e 12 foram as que apresentaram as maiores porcentagens das classes supracitadas, coincidindo com a região periférica da cidade e centro comercial da cidade de Fortaleza.

Nessas áreas, principalmente entre as Regionais Administrativas 1 e 3 (noroeste da cidade), foram registradas as temperaturas mais elevadas durante a campanha de coleta de dados de novembro de 2021 a março de 2022, sendo formadas por bairros extremamente adensados, onde a grande densidade demográfica causou uma alta demanda por estruturas urbanas, principalmente relacionadas a moradia. As estruturas residenciais verificadas nesses bairros, compostas majoritariamente por edificações de alvenaria e cobertura cerâmica dispostas muito próximas umas das outras, faz com que o volume edificado dessas regiões seja elevado, mesmo que não seja verificada verticalização intensa.

As classes 1, 2 e 3 representam àquelas de maior influência positiva para o clima urbano. Essas classes possuem influência direta na amenização do conforto térmico e na circulação dos ventos no território fortalezense. As Regionais Administrativas 6, 7, 8 e 9 foram as que obtiveram maior porcentagem de área sob a influência das classes citadas neste parágrafo. Essas regionais localizam-se na porção leste/sul da cidade de Fortaleza, posição da direção predominante dos ventos alísios que atuam no município.

Conclui-se através da análise do Mapeamento Climático Urbano, que o município de Fortaleza apesar de localizado em ambiente tropical, próximo à linha do Equador, e com forte incidência de radiação solar durante todo o ano, também está sob influência direta da proximidade com o mar, onde os ventos de macro escala e as brisas interferem diretamente na dinâmica climática local da cidade. Também é fundamental destacar a importância das estruturas verdes para o potencial dinâmico da cidade, comprovado pela análise do campo térmico realizada através da campanha de medições decorrentes da pesquisa.

Comprovando o indicado na revisão de literatura, é perceptível que durante os meses representativos do período seco, onde predominaram situações de estabilidade para o tempo atmosférico, as condições locais influenciaram com maior intensidade para as condições térmicas dos pontos analisados, refletindo diretamente na intensidade da amplitude térmica, que foi maior neste período. Enquanto nos meses que representaram o período chuvoso (com condições de

instabilidade causadas por sistemas atmosféricos causadores de chuva, foi perceptível uma maior homogeneidade do campo térmico no território de Fortaleza, onde as diferenças foram suprimidas de acordo com um regime atmosférico mais influente, no caso causador de precipitação pluviométrica.

Apesar de haver diferenças em relação aos valores absolutos e médios aferidos nos diferentes meses da campanha, existe um padrão espacial das regiões mais quentes e mais amenas da cidade. O setor localizado na porção noroeste e sudeste do município apresentou as maiores temperaturas médias e máximas médias, enquanto o Parque do Cocó, importante infraestrutura urbana verde da cidade, foi o ponto com os menores indicadores térmicos verificados, não sendo verificadas temperaturas elevadas (em contraste com os outros pontos) em nenhum mês avaliado.

Através do UCMMap e dos dados de temperatura do ar, submetidos ao Índice de Moran, foi possível identificar *clusters* de autocorrelação espacial no município de Fortaleza. Em relação ao mapeamento climático da cidade de Fortaleza, verifica-se que o centro comercial e a região noroeste do município constituem-se como porções da cidade com altas classes aglomeradas, indicando que, a estrutura urbana que compõe essas áreas atua de maneira prejudicial para o clima urbano e porventura para o conforto térmico. Já todo o setor mais ao leste de Fortaleza, com uma grande extensão territorial, mostrou-se homogênea em relação às classes referentes ao potencial dinâmico, indicando a presença de áreas arborizadas, corpos hídricos e vazios urbanos que contribuem para amenização da temperatura e circulação dos ventos.

Nos meses analisados durante a campanha, foram identificados diferentes padrões de autocorrelação espacial, apesar de manter certa coerência em relação à localização geográfica geral dos *clusters* identificados. Por serem verificadas diferenças, foi necessário atribuir uma matriz de pesos, para sintetizar os resultados obtidos pelo I de Moran Local, onde foi gerado um mapa sintético com os *clusters* para os dados de temperatura do ar.

Constatou-se que, a região periférica da cidade, principalmente entre as porções noroeste, oeste e sul/sudeste obtiveram maior contiguidade espacial para os valores mais elevados de temperatura do ar, enquanto a porção mais ao leste ficou sob os *clusters* de quadrante Baixo-Baixo, onde foi verificada maior homogeneidade em relação a esse padrão.

Com base na intercessão das análises realizadas para o UCMaP e os dados de temperatura do ar, foi possível construir um mapeamento de proposição de áreas prioritárias para a implementação de ações e medidas mitigadoras em relação ao campo térmico da cidade de Fortaleza.

O setor noroeste do município de Fortaleza, possui os bairros de maior prioridade para implementação de ações de mitigação, sendo eles Álvaro Weyne, Jacarecanga, Carlito Pamplona, Cristo redentor, Pirambu, Floresta e Centro. Essa posição se dá pelas características de uso e ocupação do solo, verificados durante a elaboração do UCMaP e sua respectiva contiguidade espacial, além dos registros térmicos elevados durante os meses de coleta.

Outros bairros também se enquadraram com alta prioridade para implementação de ações e medidas mitigadoras, foram eles: Quintino Cunha, Ellery, Jardim Guanabara, Monte Castelo, Jardim Iracema, Barra do Ceará, Bela Vista, Olavo Oliveira, Parquelândia, Amadeu Furtado, Presidente Kennedy, Couto Fernandes, Montese, Benfica, Granja Lisboa, Genibaú, Granja Portugal, São Bento, Parque Santa Maria, Conjunto Ceará II, Rodolfo Teófilo, Farias Brito, Damas, Pedras e Praia de Iracema.

Esta pesquisa indica uma metodologia para indicação de áreas prioritárias para ações e medidas mitigadoras, de acordo com os dados de ocupação urbana e de temperatura do ar, sendo possível replicar a técnica para outras cidades de características semelhantes. É importante destacar que, os resultados podem ser utilizados pelo poder público para definir estratégias de mitigação dos efeitos climáticos adversos na cidade, uma vez que a escala espacial utilizada, permite a aplicação de políticas públicas de acordo com as áreas e ações.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. F. M. C.; SILVA, M. V. C.; GANDU, A. W.; ROCHA, C. A.; CAVALCANTE, R. M. Caracterização de Cânions Urbanos e seus Efeitos Climáticos em Área com Intenso Processo de Verticalização na Cidade de Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.04 (2017) 1046-1058
- ALBUQUERQUE, F. R.; SANTOS, J. S.; LOPES, W. G. R.; ZANELLA, M. E. Uma discussão metodológica da viabilidade dos Mapas Climáticos Urbanos para o planejamento urbano-ambiental. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 31, Jul. / Dez. 2022.
- AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do Espaço Urbano. **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 71 a 90, 2011.
- AMORIM, M. C. C. T. et al. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 11 – Vol. 16, 2015.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. As diferenças das temperaturas dos alvos diagnosticadas por meio de imagens termais do satélite Landsat 8 em período seco e chuvoso em ambiente tropical. In: XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. **Anais...** Goiânia, Brasil, 2016.
- AMORIM, M.C.C.T. **Teoria e método para o estudo das ilhas de calor em cidades tropicais de pequeno e médio porte**. Tese (Tese de Livre-Docência) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.
- ANDRADE, H. Clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. Finisterra, **Revista Portuguesa de Geografia**, XL, 80, p.66-91, 2005.
- ANSELIN, L. Local Indicator of Spacial Association-LISA. **Geographical Analysis**. v.27, n° 2, p. 93-115. 1995
- ASSIS, D. C.; FERREIRA, C. C. M. Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana, Centro em Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 554-573, 2018.
- BALKESTÄHL, L. C. Estrutura espaciotemporal da Ilha de Calor Urbano. **Cadernos do Curso de Doutorado em Geografia**, FLUP, Porto, 2009.
- BARBOSA, A. E. M. **Questão da habitação: territórios, poder e sujeitos sociais no Conjunto Vila Velha, Fortaleza, Ceará**. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.
- BARROS, H. R. de. **A relação entre a Ilha de Calor Urbana, o uso e cobertura do solo e o balanço de energia do município de São Paulo: avaliação do campo térmico nos parques públicos de lazer**. Tese (Doutorado) – FFLCH, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria General de los Sistemas**. 10ª ed. México: FCE, 1995.

BEZERRA, M. P. S. **Pobreza e Lugar(es) nas margens urbanas: Lutas de classificação em territórios estigmatizados do Grande Bom Jardim**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Humanidades, Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Fortaleza, 2015.

BRANDÃO, R. S. **As Interações Espaciais Urbanas e o Clima**: Incorporação das análises térmicas e energéticas no planejamento urbano. 350 f. Tese (Doutorado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. Análises das precipitações pelos testes não paramétricos de Mann-Kendall e Kruskal-Wallis na região semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista Mercator**, v. 19, n. 4, e19.19460, out/dez. 2020.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

CARDOSO, R. S. et al. Assessment of Urban Heat Islands in Small- and Mid-Sized Cities in Brazil. **Climate**, 5, 14, 2017.

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Estimativa da distribuição espacial da temperatura do ar com base em zonas climáticas locais (LCZ) e modelos de regressão. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, 12 Porto dez. 2017

CHANDLER, T. J. **The climate of London**. Hutchinson: London, 1965.

CHE-ANI, A. I.; SHAHMOHAMADI, P.; SAIRI, A.; MOHD-NOR, M. F. I.; ZAIN, M. F. M.; SURAT, M. Mitigating the Urban Heat Island Effect: Some Points without Altering Existing City Planning. **European Journal of Scientific Research**. v. 35, p. 204–216, 2009.

COLLISCHONN, E.; MATTOS, G. P. Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada do dossel urbano - metodologia e aplicação à cidade de Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 9, p. 56-67, 2011.

COSTA, M. C. L. Fortaleza: expansão urbana e organização do espaço. In: BORZACCHIELLO, J.; CAVALCANTE, T.; DANTAS, E. (Org.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2ª edição. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p. 51-100.

DANTAS, E. W. C.; COSTA, M. C. L.; ZANELLA, M. E. (Org.). **Vulnerabilidade socioambiental e qualidade de vida em Fortaleza**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2017. 116 p.

DIÓGENES, B. H. N. **Dinâmicas urbanas recentes da área metropolitana de Fortaleza**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: FAUUSP,

2012.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiáí-SP**. Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2019.

ELLEFSEN, R. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energy and Buildings**, v. 15-16, p. 1025-49, 1990.

ESTEVIÃO, G. de S. **Sensoriamento remoto como contribuição ao estudo das ilhas de calor de superfície em Juazeiro do Norte, Ceará**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y.; MYINT, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. **Science of The Total Environment**, Volume 577, 15 January 2017.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, 2017, 9(Supl. 1), 255-270.

FERREIRA, H. V. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. Variação da temperatura da superfície através de imagens ASTER em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 16 –Vol. 26–JAN/JUN 2020.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira**. Tese (Doutorado) – FFLCH, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

FIALHO, E. S. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p.61-76, 2012.

FIALHO, E. S.; CELESTINO, E. J. Abrigos termo-higrométricos de policloreto de vinila. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, v. 8, n.16, 2017.

FREITAS, C. F. S.; LIMA, L. S. Cadastro Territorial e SIG no processo de Regularização Fundiária: o caso da ZEIS do Planalto Pici em Fortaleza, Ceará. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p. 001 – 009

FREITAS, R. F. M.; AZERÊDO, J. F. F. A.; CARVALHO, L. T. COSTA, R. F. Mapa Climático como instrumento para o Planejamento Urbano. **Revista Brasileira de estudos urbanos e regionais**, v.23, e202108pt, 202

GALLEGO, L. P. **Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro: um ensaio de climatologia urbana**. 104 f. Tese (Doutorado) – FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.

GARCÍA, M. C. M. La Cartografía del Fenómeno de la “Isla de Calor”. **Notes de**

geografia física, Barcelona, v. 19, p. 73 – 81, 1991.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GELETIČ, J.; LEHNERT, M.; P. DOBROVOLNÝ. Land Surface Temperature Differences within Local Climate Zones, Based on Two Central European Cities. **Remote Sens**, 8(10), 788, 2016.

GOBINATH, R.; ILANGOVAN, G.; VETHAMONY, P. Comparison of various interpolation methods for the estimation of meteorological data in a coastal city of Tamil Nadu, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 3, p. 177, 2018.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**. Vol. 4, no. 4, p. 385-400, 1986.

GRIMMOND, S. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **Geographical Journal**, v. 173, p. 83-88, 2007.

HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. **Remote Sensing of Environment**, 25:295-309, 1988.

KALMA, J. D.; MCVICAR, T. R.; MCCABE, M. F. Estimating land surface evaporation: A review of methods using remotely sensed surface temperature data. **Surveys in geophysics**, [S.I.], v. 29, n. 4-5, p. 421-469, 2008.

KATSCHENER, L. **The contribution of urban Climate studies to a new urbanity**. Anais Encac, 1997.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**, Griffin, London, 1975.

KNOCH, K. Die Landesklima-aufanhme, **Wesen und Methodik**. Ber. Dtsch. Wetterdienst, No. 85, 1963.

KNOCH, K. Uber das Wesen einer Landesklimaaufnahme. **Meteorologische Zeitschrift**, 5: 173, 1951.

LANDSBERG, H. E. **The climate of towns. Man's Role in Changing the Face of the Earth**. W. L. Thomas, Ed., University of Chicago Press, 1956.

LANDSBERG, H. E. **The Urban Climate**. Academic Press, New York, 1981.

LEAL, L. **A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba-PR** (Tese de Doutorado). Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal/UFPR, 2012.

LECONTE, F.; BOUYER, J.; CLAVERIE, R.; PÉTRISSANS, M. Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile

measurements. **Building and Environment**. Volume 83, January 2015.

LIMA, N.; PINHEIRO, G.; MENDONÇA, F. A. Clima Urbano no Brasil: Análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista GeoNorte**, v. 1, p. 626-638, 2012.

LIMA, S. M.; GARCEZ, D. S. Áreas verdes públicas urbanas e sua relação com a melhoria da qualidade de vida: um estudo de caso em um parque ecológico urbano na cidade de Fortaleza (Ceará, Brasil). **RBCIAMB**, n.43, 2017. 140-151

LOPES, F. J. S.; SIQUEIRA, P. H. C.; SANO, E. E. Spatial interpolation of temperature data in urban areas: A comparative analysis of inverse distance weighting and kriging methods. **Urban Climate**, v. 28, p. 100456, 2019.

LOWRY, W. P. Empirical estimation of urban effects on Climate: a problem analysis. **Journal of Applied Meteorology**, 16, p. 129 – 153, 1977.

MAIA, L. P. et al. Alterações climáticas na região de Fortaleza causada por fatores naturais e antrópicos. **Revista de Geologia UFC**. Fortaleza, vol. 9, p.111-121, 1996.

MALVEIRA, E. C. H. **Estudo de Mudanças Climáticas num ambiente urbano: Evolução da Ilha de Calor na Região Metropolitana de Fortaleza**. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: Programa de Pós-Graduação em Geografia/UECE, 2003. 191p.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, 13, 1945. p. 245-259.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R. de; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 04, p. 793-804, 2011.

MEDEIROS, C. N. **Vulnerabilidade socioambiental do município de Caucaia (CE): Subsídios ao ordenamento territorial**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UECE. Fortaleza - CE. 267 p. 2014.

MEDEIROS, R. S.; LIMA, R. P.; BRITO, J. I. B. de; ARAÚJO, J. C.; LACERDA, F. F. Análise da rede de estações meteorológicas no Nordeste do Brasil e sua influência nos modelos de previsão numérica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 263-273, 2016.

MENDONÇA, F. A. O Estudo do Clima Urbano no Brasil: Evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO; MENDONÇA. **Clima Urbano**, São Paulo: Contexto, 2003.

MENDONÇA, F. A.; MONTEIRO, C. A. F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 181p. (Série Teses e Monografias, 25), 1976.

MONTEIRO, C. A. F. **Fundamentos de climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

MORAN, N. D.; PORTELLI, R. V. Atmospheric transport and diffusion. **Air pollution**. C. S. Conporation. Ontário (Canadá), p. 117 – 127, 1987.

MOURA, M. O. **O clima urbano sob o nível do conforto térmico**. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: PPGG/UFC- Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2008.

MOURA, M. O. Os estudos de clima urbano na cidade de Fortaleza-CE. In: **IX Workshop Internacional de Avaliação Climática para o Semi-Árido Nordeste/ II Encontro Internacional de Estudos Climáticos Aplicados ao Nordeste Brasileiro**. Fortaleza/CE, 2007. CD ROM.

MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E. Escolhas de ‘Anos-Padrão’ para o estudo do conforto térmico em Fortaleza, CE: verificação de critérios. **Revista GEONORTE**, v.1, p.547-560, 2012.

MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Conforto Térmico em Fortaleza-CE. **Revista da ANPEGE**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p.177-189, 2010.

MOURA, M. O.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Ilhas térmicas na cidade de Fortaleza/CE. **Boletim Goiano de Geografia**, vol.28, n.2, jul-dez, Goiânia, p.33-44, 2008.

MOURA, T.; NERY, J.; PRADO, E. VIEIRA, C. ROCHA, H. M.; KATZSCHNER, L. Urban Climatic Map of Salvador, Brazil, using a Land Use Pattern Methodology. **Cybergeog: European Journal of Geography [En ligne]**, Cartographie, Imagerie, SIG, document 1010, mis en ligne le 31 mars 2022.

NERY, J., MOURA FREIRE, T. ANDRADE, T. KATZSCHNER, L. Thermal comfort studies in a humid tropical city. **Proceedings of The Sixth International Conference on Urban Climate**, Gothenburg, Sweden, 12–16 June. Sweden: University of Gothenburg, 2006. 234–237.

NEWMAN, P. W. Sustainability and cities: extending the metabolismo model. **Landscape and Urban Planning**. 44 (4), p. 219 – 226, 1999.

NG, E. et al. Urban Climatic Studies for hot and humid tropical coastal city of Hong Kong. In **the seventh international Conference on Urban Climate**. Yokohama, Japan. 2009.

NG, Y. A Study of Urban Heat Island using “Local Climate Zones” – The Case of Singapore. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 5, n. 2, p. 116-133, 2015.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Routledge. 1987.

OKE, T. R. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. **IOM Report 81, WMO/TD**. No. 1250. World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

OLGYAY, V. **Arquitetura e Clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, L. J. C. A importância da medição em estudos de clima urbano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 95-107, 2015.

ONSET. HOBO MX2301A Temperature and Humidity Data Logger. Disponível em: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/mx2301>. Acesso em: 10 mai. 2023.

ONU. ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050. **ONU News**, 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: jan. 2020.

ONU. **Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050**, 2017. Disponível em: <https://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>. Acessado em: jan. 2020.

PAIVA, F. I. B.; ZANELLA, M. E. Microclimas urbanos na área central do bairro da Messejana, Fortaleza/CE. **Revista Equador (UFPI)**, Vol.2, Nº 2, p. 153 -172

PENNA, N. A. Urbanização, Cidade e Meio Ambiente. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 12, p. 125 - 140, 2002.

PEQUENO, L. R. B. Minha Casa Minha Vida em Fortaleza: Novas Periferias?. In: ENANPUR. **Desenvolvimento, planejamento e governança**, Recife, 15, 2013.

PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; MASSIGNAM, A. M.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

QUANZ, J. A. et al. Micro-Scale Variability of Air Temperature within a Local Climate Zone in Berlin, Germany, during Summer. **Climate** 2018, 6(1), 5.

RAJAGOPALAN, P.; LIM, K. C.; JAMEI, E. Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city. **Solar Energy**, p. 159–170, 2014.

REN, C. A review of the historical development of urban climatic map study. In: NG; REN (Eds.). **The Urban Climatic Map**, Routledge, New York, 2015.

REN, C. et al. The application of urban climatic mapping to the urban planning of high-density cities: The case of Kaohsiung, Taiwan. **Cities**, 2013.

REN, C., NG, E., KATZSCHNER, L. Review of Urban Climatic Map studies around the World. **Paper presented at the 7th International Conference on Urban Climate**, IAUC, Yokohama, Japan, 2009.

RIBEIRO, C. A. M. **Atualização e aprofundamento do Mapa de Análise Climática do município de João Pessoa – Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2013.

SANTAMOURIS, M. et al. **Energy and Climate in the Urban Built Environment**. London: Earthscan/James & James, 2001.

SANTAMOURIS, M.; PARAPONIARIS, K.; MIHALAKAKOU, G. Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. **Climatic Change**, v. 80, n. 3-4, p. 265-276, 2007.

SANT'ANNA NETO, J. L. Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo. In: Margarete C. de Costa Trindade Amorim; João Lima Sant'Anna Neto; Ana Monteiro. (Org.). **Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso**. 1ed. São Paulo: Outras Expressões, v. 1, p. 75-91, 2013.

SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnicocientífico informacional**. São Paulo: HUCITEC, 190 p., 1993.

SANTOS, R. D.; BANDEIRA, T. V.; CRUZ, M. L. B. Análise das políticas de uso do Parque Estadual do Cocó. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 21, n. 2, Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, p. 696-715, Set.2019

SERREZE, R.G.; BARRY, R.G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, Weather and Climate**. Routledge, Oxon, 2010.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-Referenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Editora da UNICAMP, Campinas - SP. 236 p. 1999.

SIQUEIRA-GAY, J.; DIBO, A. P. A.; GIANNOTTI, M. A. Vulnerabilidade às Ilhas de Calor no Município de São Paulo: uma abordagem para a implantação de medidas mitigadoras na gestão urbana. **Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, Vol. 6, N. 2. Agosto, 2017

SOUZA, D. O. ALVALÁ, R. C. S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. **Meteorol. Appl.** 21: 186–193, 2014.

SOUZA, M. S. Análise da estrutura urbana. In: DANTAS, E. W. C.; SILVA, J. B. da; COSTA, M. C. L. (Org.). **De cidade à metrópole: (trans)formações urbanas em Fortaleza**. Fortaleza: Edições UFC, 2006. p.13-86.

SOUZA, V. S. de. **Mapa Climático Urbano da cidade de João Pessoa – PB**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2010.

SOUZA, V.; KATZSCHNER, L. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa/PB. **Conference: PLURIS 2018 - 8º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL: Coimbra, Portugal, 2018.**

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. McGrawHill, São Paulo, 1972, 580p

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia. Vancouver, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n.12, p.1879-1900, 2012.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Newly developed “thermal climate zones” for defining and measuring urban heat island magnitude in the canopy layer. Preprints, **T. R. Oke Symposium & Eighth Symposium on Urban Environment**, January 11–15, Phoenix, AZ, 2009.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. **Ninth Symposium on the Urban Environment**. Colorado, 2010.

VIANA, S. M. V.; AMORIM, M. C. C. T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio/SP: Uma introdução. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 20 (2): 19-42, DEZ. 2008.

WANG, R.; RENA, C.; XU, Y.; LAU, K., K.; SHIA, Y. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. **Urban Climate**, v. 24, p. 567-576, 2018.

WANNER, H.; FILLIGER, P. Orographic Influence on Urban Climate. **Weather and Climate**. 9: 22 – 28, 1989.

XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva - Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional**, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 2001, 478 p

XU, Y., MA, F., MENG, D., REN, C. AND LEUNG, Y. A cotraining approach to the classification of local climate zones with multi-source data. **Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, IEEE International, p. 1209–1212, 2017.

YANG, J. et al. Local climate zone ventilation and urban land surface temperatures:

Towards a performance-based and wind-sensitive planning proposal in megacities. **Sustainable Cities and Society**. Volume 47, May 2019.

ZANELLA, M. E; CLAUDINO-SALES, V. Considerações sobre o clima urbano frente às emendas propostas à lei do uso e ocupação do solo na cidade de Fortaleza-CE. In: **Anais do V Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, 2002. CD ROM.

ZHONGLI, L.; HANQIU, X. A study of Urban heat island intensity based on “local climate zones”: A case study in Fuzhou, China. **Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA)**, p. 250–254, 2016.