

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM  
SISTEMAS PRODUTIVOS

CAROLINE SANTOS SILVA EMOLO

ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR URBANAS EM SÃO PAULO:  
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO ESTATÍSTICO PARA MITIGAÇÃO E  
PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL

São Paulo

Março/2025

CAROLINE SANTOS SILVA EMOLO

ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR URBANAS EM SÃO PAULO:  
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO ESTATÍSTICO PARA MITIGAÇÃO E  
PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre(a) em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro.

Área de Concentração: Sistemas Produtivos

Linha de Pesquisa: Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade

Projeto de Pesquisa: Gestão da Inovação Tecnológica

São Paulo

Março/2025

FICHA ELABORADA PELA BIBLIOTECA NELSON ALVES VIANA  
FATEC-SP / CPS CRB8-10894

E54a Emolo, Caroline Santos Silva  
Análise das ilhas de calor urbanas em São Paulo: desenvolvimento de um modelo estatístico para mitigação e planejamento sustentável / Caroline Santos Silva Emolo. – São Paulo: CPS, 2025.  
175 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro  
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2025.

1. Gestão da inovação tecnológica. 2. Sustentabilidade. 3. Ilhas de calor urbanas. 4. Modelo de regressão linear. I. Ribeiro, Rosinei Batista. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

CAROLINE SANTOS SILVA EMOLO

ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR URBANAS EM SÃO PAULO:  
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO ESTATÍSTICO PARA MITIGAÇÃO E  
PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL



---

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro  
Orientador - CEETEPS

Documento assinado digitalmente  
 **KELLY ALONSO COSTA**  
Data: 28/04/2025 14:25:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

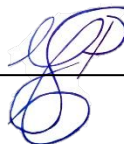
---

Prof. Dra. Kelly Alonso Costa  
Examinadora Externa - UNIVERSIDADE FEDERAL DE FLUMINENSE - UFF

Documento assinado digitalmente  
 **ELIANE ANTONIO SIMOES**  
Data: 25/04/2025 17:21:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Eliane Antônio Simões  
Examinadora Interna - CEETEPS



---

Prof. Dra. Teresa Pérez Sosa  
Convidada Externa - UNIVERSIDAD DE MATANZAS - UMCC/CUBA

São Paulo, 27 de março de 2025.

À minha família, que sempre foi meu alicerce.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, sobretudo, a Deus, Aquele que tudo criou; Ele tem sido meu sustento até o presente momento e, por Sua bondade e misericórdia, permitiu-me elaborar e concluir esta pesquisa.

À minha querida família, meu alicerce, que me apoiou desde o princípio e em toda esta trajetória. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui. Em especial, agradeço ao meu amado marido, Jefferson Guimarães Emolo, que sempre me motivou e acreditou no meu potencial.

Ao meu caro orientador, Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro, que me guiou com paciência e perseverança, compartilhando seu conhecimento ao longo deste estudo.

À Prof. Dra. Teresa Pérez Sosa, da UMCC – CEFAS/ Cuba, cuja dedicação e amplo conhecimento estatístico contribuíram significativamente para este estudo.

Aos colegas e amigos de curso, pelo companheirismo, apoio, bom humor e pelo conhecimento compartilhado nesta jornada.

À toda a equipe da UPEP – CEETEPS, pelo apoio e disponibilidade durante o curso, e ao corpo docente, cuja contribuição foi fundamental para a minha formação. Em especial, agradeço à banca examinadora, cujas contribuições foram essenciais para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao IAG – USP e sua equipe, pelo auxílio prestado na coleta de dados e esclarecimento de dúvidas. Igualmente, agradeço à CETESB, à Secretaria Executiva de Mudanças Climáticas e à Secretaria Municipal de Saúde de São Paulo, pela atenção e suporte.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta caminhada, minha sincera gratidão!

Por vezes sentimos que aquilo que fazemos  
não é senão uma gota de água no mar. Mas o  
mar seria menor se lhe faltasse uma gota.

(Madre Teresa de Calcutá)

## RESUMO

EMOLO, C. S. S. **Análise das ilhas de calor urbanas em São Paulo: desenvolvimento de um modelo estatístico para mitigação e planejamento sustentável.** 175 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2025.

Este estudo teve como objetivo central desenvolver um modelo estatístico de regressão linear múltipla (RLM) para analisar o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) na cidade de São Paulo – SP, Brasil, entre 2019 e 2023, por meio de uma abordagem quali-quantitativa. O método utilizado foi o *Design Science Research* (DSR), que orientou todas as etapas do estudo, desde a definição da natureza de pesquisa até a construção do modelo. Além disso, tanto a literatura nacional e internacional, como estudos de Málaga, Espanha e Estocolmo, Suécia, fundamentaram o campo teórico desta dissertação. Foram coletados dados meteorológicos, ambientais e de saúde, de órgãos como INMET, IAG-USP, CETESB e Secretaria Municipal da Saúde de São Paulo. A análise considerou três áreas estratégicas (Área 1 – A1, Área 2 – A2 e Área 3 – A3), avaliando variáveis como temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, velocidade dos ventos e emissão de poluentes. O estudo revelou que as regiões mais urbanizadas (A1 e A2) apresentaram maior elevação térmica e impactos na saúde, como o aumento de doenças respiratórias. Em janeiro de 2019, por exemplo, A1 registrou a maior temperatura máxima média (32,41°C), enquanto A3 registrou a menor em junho de 2023 (15,16°C), evidenciando o papel da vegetação na mitigação térmica. O uso de geoprocessamento com imagens de satélite permitiu a criação de mapas comparativos, evidenciando o aumento da temperatura do solo entre 2019 e 2023. Além disso, o modelo estatístico indicou que a umidade relativa do ar, a emissão de poluentes e a precipitação foram os fatores mais significativos na variação da temperatura. Esta pesquisa reforça a necessidade de um planejamento urbano sustentável, com estratégias baseadas na vegetação, sombreamento e ventilação natural para mitigar o efeito das ICU. Ademais, o produto ou processo tecnológico gerado, isto é, o modelo estatístico, demonstrou potencial de generalização para aplicação em outros contextos urbanos, contribuindo para políticas públicas voltadas à resiliência climática.

**Palavras-chave:** Gestão da Inovação Tecnológica. Sustentabilidade. Ilhas de Calor Urbanas. Modelo de Regressão Linear.

## ABSTRACT

EMOLO, C. S. S. **Analysis of urban heat islands in São Paulo: development of a statistical model for mitigation and sustainable planning**. 175 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2025.

This study aimed to develop a multiple linear regression (MLR) statistical model to analyze the phenomenon of Urban Heat Islands (UHI) in the city of São Paulo, Brazil, between 2019 and 2023, using a mixed-methods approach. The research followed the Design Science Research (DSR) methodology, guiding all stages of the study, from defining the research framework to constructing the model. Additionally, both national and international literature, including studies from Málaga, Spain, and Stockholm, Sweden, provided the theoretical foundation for this dissertation. Meteorological, environmental, and health data were collected from institutions such as INMET, IAG-USP, CETESB, and the São Paulo Municipal Health Department. The analysis considered three strategic áreas (Area 1 – A1, Area 2 – A2 and Area 3 – A3), evaluating variables such as air temperature, relative humidity, precipitation, wind speed, and pollutant emissions. The study revealed that the more urbanized regions (A1 and A2) exhibited higher thermal increases and health impacts, such as a rise in respiratory diseases. For instance, in January 2019, A1 recorded the highest average maximum temperature (32.41°C), while A3 registered the lowest in June 2023 (15.16°C), highlighting the role of vegetation in mitigating heat islands. The use of geoprocessing with satellite imagery enabled the creation of comparative maps, demonstrating the increase in land surface temperature between 2019 and 2023. Furthermore, the statistical model indicated that relative humidity, pollutant emissions, and precipitation were the most significant factors influencing temperature variation. This research reinforces the need for sustainable urban planning strategies, incorporating vegetation, shading, and natural ventilation to mitigate the UHI effect. Moreover, the developed statistical model has the potential for generalization and application in other urban contexts, contributing to public policies aimed at climate resilience.

**Keywords:** Technological Innovation Management. Sustainability. Urban Heat Islands. Linear Regression Model.

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1: Critérios para a condução de pesquisas em DSR aplicados ao presente estudo..... | 41 |
| Quadro 2: Municípios que compõem a RMSP.....                                              | 50 |
| Quadro 3: Estações meteorológicas automáticas.....                                        | 53 |
| Quadro 4: Compatibilização entre estações meteorológicas e rede automática da CETESB....  | 55 |
| Quadro 5: Áreas de estudo e CRS/ STS correspondentes.....                                 | 58 |
| Quadro 6: Pressupostos para um modelo de regressão linear múltipla.....                   | 61 |
| Quadro 7: Referências selecionadas ou não a partir da leitura de resumo.....              | 70 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1: Especificação do modelo estatístico para cada área de estudo.....                             | 66  |
| Tabela 2: Verificação de variáveis significativas para o modelo da Área 1.....                          | 132 |
| Tabela 3: Estimativa dos coeficientes e obtenção de $R^2$ para o modelo de A1.....                      | 133 |
| Tabela 4: Matriz de correlação entre as variáveis independentes em A1/ AN.....                          | 134 |
| Tabela 5: Teste de White para verificação da homogeneidade de variância para o modelo em A1/ AN.....    | 135 |
| Tabela 6: Verificação das variáveis significativas para o modelo de A2 - Sudeste.....                   | 138 |
| Tabela 7: Estimativa dos coeficientes e obtenção de $R^2$ para o modelo de A2.....                      | 139 |
| Tabela 8: Matriz de correlação entre as variáveis independentes para o modelo em A2 - Zona Sudeste..... | 140 |
| Tabela 9: Verificação de homoscedasticidade do modelo em A2 - Teste de White.....                       | 141 |
| Tabela 10: Verificação das variáveis estatisticamente significativas - A3.....                          | 144 |
| Tabela 11: Estimativa dos coeficientes e obtenção de $R^2$ para o modelo em A3.....                     | 145 |
| Tabela 12: Teste de White aplicado a A3.....                                                            | 147 |
| Tabela 13: Verificação das variáveis significativas - Modelo unificado para a cidade de São Paulo.....  | 151 |
| Tabela 14: Matriz de correlação entre as variáveis independentes para o modelo de São Paulo.....        | 152 |
| Tabela 15: Teste de White - Modelo de São Paulo.....                                                    | 153 |

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Equação 1: Fórmula base da regressão linear múltipla.....                                                 | 38  |
| Equação 2: Fórmula de Codificação de Variáveis.....                                                       | 62  |
| Equação 3: Modelo inicial de regressão linear múltipla – A1.....                                          | 131 |
| Equação 4: Forma estimada do modelo de regressão linear múltipla, com base nos dados reais coletados..... | 132 |
| Equação 5: Nova equação de regressão estimada para A1.....                                                | 134 |
| Equação 6: Exemplo de cálculo de resíduos para janeiro/2023 – A1.....                                     | 135 |
| Equação 7: Equação inicial e equação do modelo estimado em A2.....                                        | 138 |
| Equação 8: Nova equação de regressão estimada para A2.....                                                | 140 |
| Equação 9: Exemplo de cálculo de resíduos para janeiro/2023 – A2.....                                     | 141 |
| Equação 10: Equação inicial e equação do modelo estimado - A3.....                                        | 144 |
| Equação 11: Nova equação de regressão estimada - A3.....                                                  | 146 |
| Equação 12: Exemplo de cálculo - A3, janeiro/2023.....                                                    | 146 |
| Equação 13: Cálculos de temperaturas estimadas para A1, A2 e A3.....                                      | 150 |
| Equação 14: Equação inicial e equação do modelo estimado.....                                             | 150 |
| Equação 15: Equação de regressão estimada - modelo unificado.....                                         | 151 |
| Equação 16: Exemplo de cálculo - A3, dezembro/ 2023.....                                                  | 152 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Ilha de calor atmosférica e suas duas formas de manifestação no ambiente urbano – a camada limite urbana, que influencia o clima em uma escala mais ampla, e a camada de dossel urbano, que abrange a porção mais baixa da atmosfera. .... | 25 |
| Figura 2: Classificação da paisagem por meio das zonas climáticas locais (LCZs). Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012), traduzido pela autora. ....                                                                                                | 26 |
| Figura 3: 2024 a caminho de ser o ano mais quente e o primeiro ano acima de 1,5°C - Anomalias anuais da temperatura global em relação ao período pré-industrial (1850–1900). ....                                                                    | 29 |
| Figura 4: Mudanças climáticas – Linha do tempo e Panorama. ....                                                                                                                                                                                      | 30 |
| Figura 5: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). ....                                                                                                                                                                                       | 31 |
| Figura 6: Condução do método DSR, de acordo com Takeda <i>et al.</i> (1990), Vaishnavi e Kuechler (2009), Manson (2006) e Peffers <i>et al.</i> (2007). ....                                                                                         | 36 |
| Figura 7: Exemplo de análise estatística por regressão linear múltipla das variáveis. ....                                                                                                                                                           | 38 |
| Figura 8: Classificação da pesquisa adotada no trabalho. ....                                                                                                                                                                                        | 40 |
| Figura 9: Etapas do método DSR, de acordo com Peffers <i>et al.</i> (2007), aplicadas a este estudo. ....                                                                                                                                            | 42 |
| Figura 10: Busca inicial no Portal de Periódicos da CAPES. ....                                                                                                                                                                                      | 43 |
| Figura 11: Processo de busca no Portal de Periódicos da CAPES. ....                                                                                                                                                                                  | 44 |
| Figura 12: Etapas do estudo bibliométrico. ....                                                                                                                                                                                                      | 45 |
| Figura 13: Primeira parte da elaboração de mapa de coocorrência – VOSViewer®. ....                                                                                                                                                                   | 46 |
| Figura 14: Segunda parte da elaboração de mapa de coocorrência – VOSViewer®. ....                                                                                                                                                                    | 47 |
| Figura 15: Localização da área de estudo (São Paulo, SP – Brasil). ....                                                                                                                                                                              | 49 |
| Figura 16: Regiões, Prefeituras Regionais e Distritos da cidade de São Paulo. ....                                                                                                                                                                   | 51 |
| Figura 17: Vista frontal e lateral da Estação automática INMET - Mirante de Santana, Zona Norte de São Paulo. ....                                                                                                                                   | 53 |
| Figura 18: Vista da Estação automática INMET - Interlagos, localizada dentro do SESC Interlagos - SP. ....                                                                                                                                           | 54 |
| Figura 19: Estação meteorológica do IAG - USP, localizada no Parque Cientec, São Paulo. ....                                                                                                                                                         | 54 |
| Figura 20: Representação das três áreas de estudo. ....                                                                                                                                                                                              | 56 |
| Figura 21: Variáveis utilizadas para análise quantitativa do presente estudo. ....                                                                                                                                                                   | 57 |
| Figura 22: Etapas para elaboração dos mapas de cobertura e temperatura de solo. ....                                                                                                                                                                 | 59 |
| Figura 23: Estandarização das variáveis para construção do modelo – Exemplo da Área 1/ Área Norte (A1/ AN). ....                                                                                                                                     | 64 |
| Figura 24: Etapas de construção do modelo estatístico de regressão linear múltipla. ....                                                                                                                                                             | 65 |
| Figura 25: Resultados da aplicação do método DSR. ....                                                                                                                                                                                               | 67 |
| Figura 26: Mapa de coocorrência elaborado por meio do software VOSViewer®. ....                                                                                                                                                                      | 69 |
| Figura 27: Caracterização das três áreas de estudo com base no conceito de Zonas Climáticas Locais ( <i>Local Climate Zones</i> - LCZ). ....                                                                                                         | 73 |
| Figura 28: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                        | 75 |
| Figura 29: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                        | 76 |
| Figura 30: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                        | 77 |
| Figura 31: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                        | 78 |
| Figura 32: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                        | 79 |
| Figura 33: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                       | 81 |
| Figura 34: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                       | 82 |
| Figura 35: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                       | 83 |
| Figura 36: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                                                                                                       | 84 |

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 37: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2023: A1, A2 e A3.....                                                                                              | 85  |
| Figura 38: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2019: A1, A2, A3. ....                                                                        | 87  |
| Figura 39: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2020: A1, A2, A3. ....                                                                        | 88  |
| Figura 40: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2021: A1, A2, A3. ....                                                                        | 89  |
| Figura 41: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2022: A1, A2, A3. ....                                                                        | 90  |
| Figura 42: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2023: A1, A2, A3. ....                                                                        | 91  |
| Figura 43: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                          | 93  |
| Figura 44: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                          | 94  |
| Figura 45: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                          | 95  |
| Figura 46: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                          | 96  |
| Figura 47: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                          | 97  |
| Figura 48: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                                | 98  |
| Figura 49: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                                | 99  |
| Figura 50: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                                | 100 |
| Figura 51: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                                | 101 |
| Figura 52: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                                | 102 |
| Figura 53: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                | 103 |
| Figura 54: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                | 104 |
| Figura 55: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                | 105 |
| Figura 56: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                | 106 |
| Figura 57: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                | 107 |
| Figura 58: Emissão de poluente MP2,5 - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                                             | 109 |
| Figura 59: Emissão de poluente MP2,5 - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                                             | 110 |
| Figura 60: Emissão de poluente MP2,5 - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                                             | 111 |
| Figura 61: Emissão de poluente MP2,5 - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                                             | 112 |
| Figura 62: Emissão de poluente MP2,5 - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                                             | 113 |
| Figura 63: Média mensal de precipitações - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                                         | 115 |
| Figura 64: Média mensal de precipitações - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                                         | 116 |
| Figura 65: Média mensal de precipitações - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                                         | 117 |
| Figura 66: Média mensal de precipitações - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                                         | 118 |
| Figura 67: Média mensal de precipitações - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                                         | 119 |
| Figura 68: Velocidade média mensal dos ventos - 2019: A1, A2 e A3. ....                                                                                                    | 120 |
| Figura 69: Velocidade média mensal dos ventos - 2020: A1, A2 e A3. ....                                                                                                    | 121 |
| Figura 70: Velocidade média mensal dos ventos - 2021: A1, A2 e A3. ....                                                                                                    | 122 |
| Figura 71: Velocidade média mensal dos ventos - 2022: A1, A2 e A3. ....                                                                                                    | 123 |
| Figura 72: Velocidade média mensal dos ventos - 2023: A1, A2 e A3. ....                                                                                                    | 124 |
| Figura 73: Número de habitantes em A1, A2 e A3, com base no último Censo (2022), cujos dados foram utilizados no Boletim de Saúde. ....                                    | 125 |
| Figura 74: Coeficiente de mortalidade geral (CMG/ mil habitantes); Coeficiente de mortalidade infantil (CMI/ mil nascidos vivos) e Coeficiente de mortalidade por COVID-19 |     |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| (CM/ 100 mil habitantes).....                                                                                                     | 126 |
| Figura 75: Coeficientes de Incidência (CI/ 100 mil habitantes) de doenças e agravos de notificação compulsória.....               | 126 |
| Figura 76: Mapas de cobertura do solo (NDVI) – dezembro/2019, junho/2021 e dezembro/2023, cidade de São Paulo. ....               | 128 |
| Figura 77: Mapa de temperatura da superfície do solo (LST) – dezembro/2019, junho/2021 e dezembro/2023, cidade de São Paulo. .... | 129 |
| Figura 78: Gráfico das áreas em hectares, obtidas por meio dos mapas de cobertura do solo. ....                                   | 130 |
| Figura 79: Gráfico das temperaturas obtidas por meio dos mapas de temperatura superficial. ....                                   | 130 |
| Figura 80: Teste de <i>Ljung-Box</i> e correlograma para verificar a não autocorrelação no modelo de A1. ....                     | 136 |
| Figura 81: Teste de <i>Jarque-Bera</i> para avaliar a normalidade dos resíduos em A1.....                                         | 137 |
| Figura 82: Teste de <i>Ljung-Box</i> e correlograma para verificar a não autocorrelação no modelo de A2. ....                     | 142 |
| Figura 83: Teste de <i>Jarque-Bera</i> para verificação de normalidade de erros em A2. ....                                       | 143 |
| Figura 84: Teste de <i>Ljung-Box</i> e correlograma - A3. ....                                                                    | 147 |
| Figura 85: Teste de <i>Jarque-Bera</i> para o modelo em A3. ....                                                                  | 148 |
| Figura 86: Teste de <i>Ljung-Box</i> e correlograma - Modelo de São Paulo.....                                                    | 153 |
| Figura 87: Teste de <i>Jarque-Bera</i> para o modelo unificado. ....                                                              | 154 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |                                                                                         |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| A1       | Área de estudo 1                                                                        |
| A2       | Área de estudo 2                                                                        |
| A3       | Área de estudo 3                                                                        |
| CAPES    | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior                             |
| CETESB   | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                                              |
| CGEE     | Centro de Gestão e Estudos Estratégicos                                                 |
| CM       | Coeficiente de Mortalidade                                                              |
| CMG      | Coeficiente de Mortalidade Geral                                                        |
| CMI      | Coeficiente de Mortalidade Infantil                                                     |
| COP      | Conferência das Partes                                                                  |
| CRS      | Coordenadoria Regional de Saúde                                                         |
| DSR      | Design Science Research                                                                 |
| DTT      | Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia                                           |
| GEE      | Gases de Efeito Estufa                                                                  |
| HDI      | Human Development Index                                                                 |
| IAb      | Inovação aberta                                                                         |
| IAG/ USP | Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                         |
| ICU      | Ilhas de Calor Urbanas                                                                  |
| IDH      | Índice de Desenvolvimento Humano                                                        |
| INMET    | Instituto Nacional de Meteorologia                                                      |
| IPCC     | Intergovernmental Panel on Climate Change                                               |
| LCZ      | Local Climate Zones                                                                     |
| LST      | Land Surface Temperature                                                                |
| MP       | Material Particulado                                                                    |
| NDBI     | Normalized Difference Built-up Index                                                    |
| NDVI     | Normalized Difference Vegetation Index                                                  |
| OCDE     | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico                               |
| ODS      | Objetivos do Desenvolvimento Sustentável                                                |
| OMM      | Organização Meteorológica Mundial                                                       |

|        |                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------|
| ONU    | Organização das Nações                                |
| PNUD   | Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento     |
| PTT    | Produto Técnico-tecnológico                           |
| RLM    | Regressão Linear Múltipla                             |
| RLS    | Regressão Linear Simples                              |
| RMSP   | Região Metropolitana de São Paulo                     |
| SESC   | Serviço Social do Comércio                            |
| SIG    | Sistema de Informação Geográfica                      |
| SP     | São Paulo                                             |
| STS    | Supervisões Técnicas de Saúde                         |
| UHI    | Urban Heat Island                                     |
| UNFCCC | United Nations Framework Convention on Climate Change |
| USGS   | United States Geological Survey                       |
| WOS    | Web of Science                                        |

## SUMÁRIO

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                       | <b>20</b>  |
| <b>1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                                           | <b>24</b>  |
| <b>1.1 Ilhas de Calor Urbanas (ICU) .....</b>                                                 | <b>24</b>  |
| <b>1.2 Desenvolvimento Sustentável e Mudanças Climáticas.....</b>                             | <b>28</b>  |
| <i>1.2.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).....</i>                              | <i>31</i>  |
| <b>1.3 Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade .....</b>                            | <b>32</b>  |
| <i>1.3.1 Cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes .....</i>                           | <i>34</i>  |
| <b>1.4 Design Science Research (DSR).....</b>                                                 | <b>35</b>  |
| <b>1.5 Modelo estatístico de Regressão Linear Múltipla.....</b>                               | <b>37</b>  |
| <b>2 METODOLOGIA.....</b>                                                                     | <b>39</b>  |
| <b>2.1 Classificação da pesquisa .....</b>                                                    | <b>39</b>  |
| <b>2.2 Aplicação do método DSR .....</b>                                                      | <b>40</b>  |
| <b>2.3 Estudo bibliométrico sobre Ilhas de Calor no contexto urbano.....</b>                  | <b>42</b>  |
| <b>2.4 Contextualização e caracterização da área de estudo .....</b>                          | <b>47</b>  |
| <i>2.4.1 Dados quantitativos – Coleta de dados meteorológicos, ambientais e de saúde.....</i> | <i>52</i>  |
| <i>2.4.2 Elaboração de imagens geoprocessadas da cidade de São Paulo – SP, Brasil .....</i>   | <i>58</i>  |
| <b>2.5 Modelo Estatístico de Regressão Linear Múltipla.....</b>                               | <b>60</b>  |
| <i>2.5.1 Procedimentos estatísticos e construção do modelo .....</i>                          | <i>60</i>  |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                         | <b>67</b>  |
| <b>3.1 Eficácia da aplicação do método DSR .....</b>                                          | <b>67</b>  |
| <b>3.2 Análise de conteúdo (Estudo bibliométrico) .....</b>                                   | <b>68</b>  |
| <b>3.3 Análise quali-quantitativa.....</b>                                                    | <b>73</b>  |
| <i>3.3.1 Caracterização da área de estudo (A1, A2 e A3) com base em LCZ .....</i>             | <i>73</i>  |
| <i>3.3.2 Análise dos dados meteorológicos, ambientais e de saúde – A1, A2 e A3.....</i>       | <i>74</i>  |
| <i>3.3.3 Análise dos mapas de cobertura e temperatura de solo (NDVI/ LST).....</i>            | <i>127</i> |
| <b>3.4 Resultados da modelagem estatística de regressão linear múltipla (RLM) .....</b>       | <b>131</b> |
| <i>3.4.1 Área 1/ Área Norte (A1/ AN).....</i>                                                 | <i>131</i> |
| <i>3.4.2 Área 2/ Área Sudeste (A2/ ASE) .....</i>                                             | <i>138</i> |
| <i>3.4.3 Área 3/ Área Sul (A3/ AS).....</i>                                                   | <i>143</i> |
| <i>3.4.4 Modelo unificado – A1, A2 e A3.....</i>                                              | <i>149</i> |
| <i>3.4.5 Produto tecnológico gerado nesta dissertação .....</i>                               | <i>155</i> |
| <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                                         | <b>156</b> |

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                  | <b>158</b> |
| <b>APÊNDICE A – EXEMPLO DE PLANILHA OBTIDA PELO INMET (07 A 12/2023)</b>  |            |
| <b>.....</b>                                                              | <b>167</b> |
| <b>APÊNDICE B – EXEMPLO DE PLANILHA OBTIDA PELO IAG-USP (01/2019)....</b> | <b>168</b> |
| <b>APÊNDICE C – PLANILHA DE DADOS “A1” PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO</b>      |            |
| <b>ESTATÍSTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....</b>                      | <b>169</b> |
| <b>APÊNDICE D – PLANILHA DE DADOS “A2” PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO</b>      |            |
| <b>ESTATÍSTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....</b>                      | <b>169</b> |
| <b>APÊNDICE E – PLANILHA DE DADOS “A3” PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO</b>      |            |
| <b>ESTATÍSTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....</b>                      | <b>171</b> |
| <b>APÊNDICE F – TABELAS GERADAS PELO SOFTWARE EVIEWS.....</b>             | <b>172</b> |

## INTRODUÇÃO

O processo de urbanização e o surgimento dos centros urbanos tiveram início a partir da Revolução Industrial. Esse evento foi marcado pelo aumento da quantidade de fábricas e intensa migração do campo para as cidades, de forma a preencher os novos postos de trabalho, o que gerou mudanças significativas à paisagem natural (Gomes; Pinto, 2020).

De acordo com Gomes e Pinto (2020), tais fatores aliados ao vertiginoso crescimento demográfico favoreceram o aparecimento de novos problemas, dentre os quais se podem citar o acúmulo de lixo pelos grandes centros, esgotos e detritos sendo descartados no meio ambiente, além de um novo cenário com o qual a sociedade passa a conviver, repleto de mudanças tecnológicas e climáticas. Ainda, segundo os autores, o rápido crescimento das cidades levou à necessidade de um planejamento urbano eficiente e sustentável.

Ribeiro *et al.* (2023) exemplificam como manifestações da crise urbana a propensão ao colapso dos sistemas de mobilidade urbana, crescentes índices de desemprego, bem como as frequentes tragédias socioambientais urbanas. No entanto, a urbanização desigual e os problemas atrelados ao processo de urbanização propõem o desafio de se criar cidades mais plurais e inclusivas (Oliveira; Manzi, 2020).

De acordo com Santos, M. (1993), a urbanização brasileira teve seu início no século XVIII, atingindo sua maturidade entre os séculos XIX e XX. Entretanto, segundo o autor, esse fenômeno ganha maiores dimensões entre as décadas de 1940 e 1980, momento em que a população urbana se multiplica, principalmente na Região Sudeste. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), conforme o Censo Demográfico de 2022, aproximadamente 61% da população vive em concentrações urbanas, sendo que o município de São Paulo é o mais populoso do país, abrigando mais de 11 milhões de habitantes.

Na cidade de São Paulo, capital do estado homônimo e importante metrópole brasileira, a urbanização ocorreu por meio da expansão da área urbanizada, de forma desigual, criando disparidade entre centro e periferias (Carlos, 2009). Segundo a autora, esse processo resultou no que se observa atualmente: a intensa degradação da natureza e uma crise ambiental como produto. Ademais, de acordo com Espíndola *et al.* (2020), podem-se citar mudanças climáticas como as relacionadas à temperatura e à precipitação, secas, ondas de frio/ calor, além do aumento de vetores de doenças, que impactam diretamente as populações em áreas urbanas.

Diante do contexto apresentado, a partir do final da Segunda Guerra Mundial, iniciou-se a chamada “revolução ambiental”, que estimulou debates e transformou a consciência ambiental, bem como a organização econômica e política mundial (Malta, 2018). Marcos importantes, como o livro “Primavera Silenciosa” (1962), de Rachel Carson, e o relatório “Os Limites do Crescimento” (1972), do Clube de Roma, destacaram os impactos do consumo desordenado dos recursos naturais. A Conferência de Estocolmo, em 1972, marcou a primeira discussão ambiental nas Nações Unidas e, em 1987, o conceito de "Desenvolvimento Sustentável" ganhou visibilidade, defendendo o equilíbrio entre as necessidades atuais e futuras (Malta, 2018).

Logo, é crescente a preocupação ambiental, sobretudo diante do cenário de mudanças climáticas, visto que o clima sofre devido às inúmeras alterações provenientes da urbanização. Tais alterações influenciam o balanço energético local, e contribuem para a formação das Ilhas de Calor Urbanas, as quais definem-se como o aumento excessivo das temperaturas do ar nas áreas centrais das cidades em relação às do ambiente rural (Oke, 2002).

Considerando os desafios abordados, dada a formação da autora em Arquitetura e Urbanismo, a qual engloba as disciplinas de Planejamento Urbano e Sustentabilidade, além da aderência com a área de concentração e linha de pesquisa do presente Programa de Pós-graduação, este estudo oferece uma base sólida para investigar e propor soluções que mitiguem os impactos ambientais e socioeconômicos das atividades humanas.

A aderência desta dissertação ao Mestrado Profissional em Sistemas Produtivos, e mais especificamente à linha de pesquisa em Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade, reflete o compromisso com a criação de modelos de gestão que promovam inovação sustentável, garantindo que as melhorias nos sistemas produtivos estejam alinhadas com práticas ambientalmente responsáveis.

Ademais, destacam-se, nesse contexto, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2024), que visam orientar ações globais para o enfrentamento dos desafios sociais, econômicos e ambientais contemporâneos. Com isso, estudos que integram dados ambientais, climáticos e urbanos se tornam fundamentais para subsidiar políticas públicas e promover cidades mais sustentáveis e resilientes.

Assim sendo, este estudo buscou responder ao seguinte questionamento de pesquisa: “De que forma as variáveis quantitativas e qualitativas se relacionam com a ocorrência do fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas no município de São Paulo – SP, Brasil, considerando o

uso de um modelo de regressão linear na análise?”. Para alcançar esse propósito, o objetivo geral deste estudo foi:

- Analisar as relações existentes entre a ocorrência do fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas e um conjunto de variáveis quantitativas no município de São Paulo – SP, Brasil, por meio de um modelo estatístico de regressão linear, combinado a uma abordagem quali-quantitativa, utilizando dados do período de 2019 a 2023, de forma a compreender os fatores sociais e ambientais que influenciam este fenômeno.

De modo a alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos foram:

- Realizar uma investigação exploratória, por meio de pesquisa bibliográfica e estudo bibliométrico sobre o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas, a fim de contextualizar o tema proposto e identificar estudos relevantes;
- Coletar e mensurar dados de variáveis meteorológicas e de qualidade do ar (temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, velocidade média dos ventos e emissão de poluentes) do município de São Paulo, referentes aos anos de 2019 a 2023, de forma a se realizar análises nesta janela temporal, bem como utilizá-los no modelo estatístico (Regressão Linear), partindo da variável dependente – Temperatura do ar;
- Caracterizar a área de estudo – município de São Paulo –, com base nos dados coletados em três pontos estratégicos da cidade (Estações Automáticas), com o intuito de obter um perfil detalhado das condições ambientais em diferentes áreas urbanas;
- Utilizar técnicas de Geoprocessamento, por meio de imagens de satélite e adotando como ferramenta o software *QGis*®, para construir mapas de temperatura da superfície e cobertura do solo, no período mencionado;
- Desenvolver um modelo estatístico de regressão linear, com base nas variáveis meteorológicas e de qualidade do ar obtidas, utilizando software *EViews*®, de forma a se verificar as relações com a variável dependente (Temperatura do ar), e fornecer conclusões sobre os fatores que contribuem para as Ilhas de Calor Urbanas na cidade.

Portanto, o presente estudo buscou contribuir para uma maior compreensão da ocorrência de Ilhas de Calor Urbanas no município de São Paulo, identificando fatores determinantes que influenciam sua formação e examinando sua relação com a saúde pública, destacando a pertinência de iniciativas sustentáveis e políticas públicas que promovam cidades mais inclusivas, resilientes e preparadas para enfrentar os desafios ambientais globais.

A estrutura deste trabalho foi organizada da seguinte forma: apresenta-se, no Capítulo 1, todo o levantamento bibliográfico, com os principais autores e conceitos que fundamentam este estudo. No Capítulo 2, são descritos os procedimentos empregados na presente dissertação. O Capítulo 3 traz os resultados e discussão, analisando os resultados obtidos nesta pesquisa. Por fim, são apresentadas as considerações finais da presente dissertação, destacando as contribuições e limitações do estudo.

O produto técnico-tecnológico (PTT) resultante desta dissertação constitui um modelo estatístico de regressão linear, combinado a uma análise quali-quantitativa, aplicado ao diagnóstico de Ilhas de Calor Urbanas na cidade de São Paulo, no formato de um Relatório Técnico Conclusivo.

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo abordou os principais conceitos e autores que fundamentaram este estudo, os quais se dividem em: Ilhas de Calor Urbanas (ICU), Desenvolvimento Sustentável e Mudanças Climáticas, Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade, *Design Science Research* (DSR) e Modelo de Regressão Linear.

### 1.1 Ilhas de Calor Urbanas (ICU)

A ocorrência de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) é uma característica marcante do clima das cidades, onde a temperatura do ar tende a ser mais elevada em comparação a regiões rurais e/ou menos urbanizadas (Barduco; Galvani, 2022). Conforme descrito pelos autores, esse fenômeno também influencia a umidade relativa do ar e a alteração dos ventos nos centros urbanos, decorrentes da ação antrópica sobre a superfície.

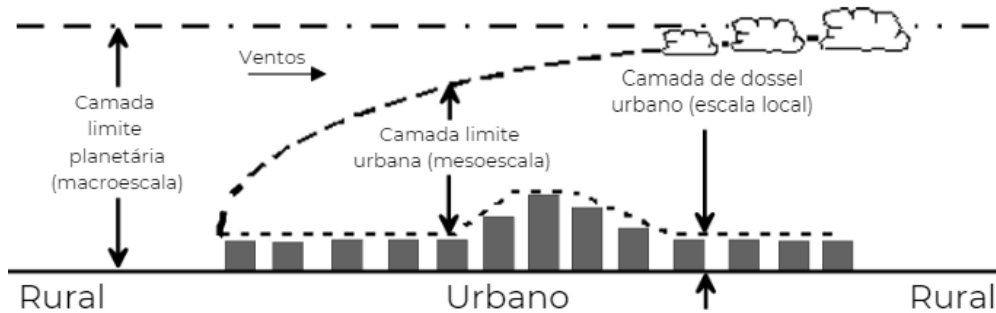
Oke (2002) considerou o efeito de ICU provavelmente o exemplo mais claro e bem documentado de mudança climática, cuja forma exata e tamanho variam no tempo e no espaço como resultado de características meteorológicas, locais e urbanas. É importante salientar que a rápida urbanização nas últimas décadas substituiu grandes áreas de superfícies naturais por superfícies artificiais de baixa permeabilidade, alterando o ciclo da água e o balanço de energia, o que contribuiu para o efeito de ilha de calor nas aglomerações urbanas (Qiu *et al.*, 2023).

De acordo com Qian *et al.* (2022), as ICU podem ser identificadas e classificadas com base nas escalas e processos envolvidos, nos métodos de observação (remotos ou em solo), nos instrumentos utilizados e no meio observado (ar ou superfície). Stewart (2011) destacou que as ICU são fenômenos de escala local, com distâncias horizontais e verticais variando entre 100 e 10.000 metros. Estudos micrometeorológicos, segundo o autor, analisam amostras de dezenas de metros, enquanto pesquisas em mesoescala abrangem até centenas de quilômetros, com o tempo de investigação variando de horas a anos.

Segundo Stewart (2011), as ICU se dividem em três tipos: de superfície, de subsuperfície e atmosféricas. De acordo com o autor, o tipo de superfície é definido pelas diferenças de temperatura entre áreas urbanas (como estradas e edifícios) e rurais (como solos e vegetação); já as ilhas de calor subsuperficiais ocorrem abaixo da superfície urbana, com temperaturas elevadas em áreas densamente construídas e mais baixas em áreas naturais. Amanambu *et al.* (2020) demonstraram que, embora as temperaturas subsuperficiais possam permanecer mais estáveis ao longo do tempo, também são afetadas pelas mudanças climáticas.

Stewart (2011) frisou que o tipo mais comum é a ilha de calor atmosférica (Figura 1). Oke (2002) classificou as ICU atmosféricas em dois tipos: a ilha de calor da camada limite urbana (em inglês, *urban boundary layer*), que é influenciada por processos locais e mesoescalares, afetando o clima da camada planetária sobre as cidades; a ilha de calor da camada de dossel urbano (em inglês, *urban canopy layer*), em uma porção mais rasa da atmosfera, é governada por processos de microescala e afeta diretamente a vida cotidiana, a qual é o foco do presente estudo.

Figura 1: Ilha de calor atmosférica e suas duas formas de manifestação no ambiente urbano – a camada limite urbana, que influencia o clima em uma escala mais ampla, e a camada de dossel urbano, que abrange a porção mais baixa da atmosfera.



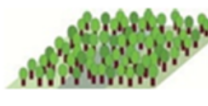
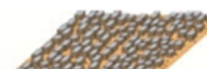
Fonte: Adaptado de Stewart (2011), traduzido pela autora.

Pesquisas anteriores frequentemente definiram o urbano como uma região mais densa e o rural como uma área com mais vegetação (Santos, F., 2023). No entanto, Stewart e Oke (2012) pontuaram que esses termos são vagos, pois áreas rurais e urbanas apresentam grande diversidade de uso e cobertura do solo.

Para uma análise detalhada, Stewart e Oke (2012) propuseram a classificação da paisagem em zonas climáticas locais (do inglês, *Local Climate Zones - LCZ*). Essa metodologia utiliza 17 categorias baseadas na escala, cobertura do solo, morfologia urbana e condições

térmicas, conforme representado na Figura 2. Tal abordagem possibilita a comparação de cidades de diferentes países, considerando o uso e a ocupação do solo (Santos, F., 2023).

Figura 2: Classificação da paisagem por meio das zonas climáticas locais (LCZs).

| Tipos de construção                                                                 | Definição                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Tipos de cobertura de solo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Definição                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>1. Compacto de Alta Altura</b><br/>Mistura densa de prédios altos com dezenas de andares. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura de solo predominantemente pavimentada. Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.</li> </ul>                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>A. Árvores Densas</b><br/>Paisagem densamente arborizada com árvores decíduas e/ou perenes. Cobertura de solo predominantemente permeável (plantas baixas). Função da zona: floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</li> </ul>    |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2. Compacto de Média Altura</b><br/>Mistura densa de prédios de altura média (3–9 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura de solo predominantemente pavimentada. Materiais de construção: pedra, tijolo, ladrilho e concreto.</li> </ul>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>B. Árvores Espalhadas</b><br/>Paisagem levemente arborizada com árvores decíduas e/ou perenes. Cobertura de solo predominantemente permeável (plantas baixas). Função da zona: floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>3. Compacto de Baixa Altura</b><br/>Mistura densa de prédios de baixa altura (1–3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura de solo predominantemente pavimentada. Materiais de construção: pedra, tijolo, ladrilho e concreto.</li> </ul>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>C. Arbusto, Moita</b><br/>Arranjo aberto de arbustos, moitas e árvores baixas. Cobertura de solo predominantemente permeável (solo nu ou areia). Função da zona: vegetação arbustiva natural ou agricultura.</li> </ul>                          |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>4. Aberto de Alta Altura</b><br/>Arranjo aberto de prédios altos com dezenas de andares. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.</li> </ul>                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>D. Plantas Baixas</b><br/>Paisagem sem características de grama ou plantas herbáceas/cultivos. Poucas ou nenhuma árvore. Função da zona: pastagem natural, agricultura ou parque urbano.</li> </ul>                                              |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>5. Aberto de Média Altura</b><br/>Arranjo aberto de prédios de altura média (3–9 andares). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais de construção: concreto, aço, pedra e vidro.</li> </ul>                |                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>E. Rocha ou Pavimento</b><br/>Paisagem sem características de rocha ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. Função da zona: deserto natural (rocha) ou transporte urbano.</li> </ul>                                       |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>6. Aberto de Baixa Altura</b><br/>Arranjo aberto de prédios de baixa altura (1–3 andares). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas). Materiais de construção: madeira, tijolo, pedra, ladrilho e concreto.</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>F. Solo Nu ou Areia</b><br/>Paisagem sem características de solo ou areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. Função da zona: deserto natural ou agricultura.</li> </ul>                                                                        |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>7. Baixa Altura Leve</b><br/>Mistura densa de prédios de um único andar. Poucas ou nenhuma árvore. Solo predominantemente compactado. Materiais de construção leves (ex.: madeira, palha, metal corrugado).</li> </ul>                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>G. Água</b><br/>Grandes áreas de água aberta, como mares e lagos, ou pequenas áreas como rios, reservatórios e lagoas.</li> </ul>                                                                                                                |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>8. Grande Baixa Altura</b><br/>Arranjo aberto de grandes prédios de baixa altura (1–3 andares). Poucas ou nenhuma árvore. Solo predominantemente pavimentado. Materiais de construção: aço, concreto, metal e pedra.</li> </ul>                             | <b>Propriedades Variáveis da Cobertura do Solo</b><br><br>Coberturas de solo variáveis ou sazonais que mudam significativamente com padrões sinóticos do clima, práticas agrícolas e/ou ciclos sazonais. <ul style="list-style-type: none"> <li>• b. Árvores sem Folhas</li> <li>• s. Cobertura de Neve</li> <li>• d. Solo Seco</li> <li>• w. Solo Úmido</li> </ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>9. Disperso</b><br/>Arranjo esparsos de prédios pequenos ou de médio porte em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores espalhadas).</li> </ul>                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>10. Indústria Pesada</b><br/>Estruturas industriais de baixa ou média altura (torres, tanques, chaminés). Poucas ou nenhuma árvore. Solo predominantemente pavimentado ou compactado. Materiais de construção: metal, aço e concreto.</li> </ul>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012), traduzido pela autora.

Ademais, no município de São Paulo, Lombardo (1985) foi pioneira ao estudar a ocorrência do fenômeno das ilhas de calor na região metropolitana, cujo trabalho incluiu uma análise detalhada das variações diurnas, sazonais e espaciais da temperatura e da umidade relativa do ar, coletadas em 45 pontos de monitoramento. Para estimar a temperatura da superfície com precisão, a autora utilizou imagens térmicas em uma resolução espacial de 1 km x 1 km, possibilitando uma visão mais aprofundada das dinâmicas térmicas urbanas (Barros; Lombardo, 2016).

Segundo Lombardo (1985) os primeiros estudos sobre o clima urbano foram pautados em Londres, entre os séculos XVII e XIX. No contexto das ICU, Lombardo (1985) ressaltou a contribuição de Timothy Richard Oke, cujos estudos, a partir da década de 1970, abordaram a base energética das ilhas de calor e enfatizaram a importância de fatores como localização geográfica, topografia, tipo de solo, vegetação e uso do solo.

Tarifa e Armani (2001) relacionaram variáveis como temperatura da superfície, poluição atmosférica e uso do solo para classificar São Paulo em unidades climáticas urbanas. Esse estudo cartográfico consolidou tais informações, evidenciando características da estrutura urbana. Pascoalino e Júnior (2021) salientaram a importância dos mapas climáticos para o planejamento urbano, orientando a adaptação da estrutura da cidade e promovendo alternativas de resiliência para mitigar impactos negativos.

O estudo de Viana *et al.* (2012) investigou e quantificou o fenômeno de ICU em Manaus, Amazonas, utilizando dados de temperatura média do solo obtidos via satélite, e medições de temperatura do ar e umidade relativa em áreas urbanas e rurais, no qual se observou que fatores como perda de radiação térmica, atividades industriais e presença de veículos intensificam o fenômeno.

Menegaldo (2022) realizou campanhas de coleta de dados de temperatura e umidade do ar simultaneamente a coleta de relatos de transeuntes sobre a percepção e a satisfação quanto ao ambiente térmico, apontando a necessidade de se priorizar as áreas verdes no ambiente urbano, para maior conforto térmico.

Malta (2018) elaborou uma análise de indicadores sociais, econômicos e ambientais, na qual identificou, caracterizou e analisou populações em situação de vulnerabilidade socioambiental no município do Rio de Janeiro – RJ, gerando um índice de síntese – o Índice de Vulnerabilidade Socioambiental.

A presente dissertação também se pautou na literatura internacional. Venter *et al.* (2023) exploraram a questão da injustiça ambiental em Oslo, Noruega. Tal pesquisa revelou uma correlação entre a proximidade a corpos d'água e a renda, bem como a disponibilidade de espaços verdes.

Su *et al.* (2021) realizaram um estudo em Estocolmo, Suécia, no qual se propôs um mapeamento detalhado das fontes de calor limpas por meio do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Essa abordagem permitiu a criação de mapas de alta precisão que mostram onde estão essas fontes e o quanto elas podem contribuir para substituir fontes de calor fósseis, a fim de alcançar autossuficiência no aquecimento de maneira sustentável.

Portanto, esta pesquisa baseou-se nos estudos citados, empregando uma metodologia que incluiu coleta de dados meteorológicos para análise quantitativa e elaboração de um modelo estatístico de regressão linear. Além disso, representações da temperatura e da cobertura do solo foram desenvolvidas por meio de mapas, permitindo uma análise combinada na caracterização e diagnóstico das ICU no município de São Paulo.

## **1.2 Desenvolvimento Sustentável e Mudanças Climáticas**

De acordo com a OMM<sup>1</sup> (2023), cada década após 1990 tem sido progressivamente mais quente do que a anterior. Entre 2011 e 2020, o planeta passou pela década mais quente já registrada, com notável aumento de gases de efeito estufa (GEE), além de eventos climáticos extremos que comprometeram a segurança alimentar e o desenvolvimento (OMM, 2023).

O ano de 2024 marcou um recorde histórico como o mais quente já registrado, sendo o primeiro ano em que a temperatura global ultrapassou o aumento de 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais. Este limite, estabelecido pelo Acordo de Paris para ser atingido até 2100, representa um marco preocupante no contexto das mudanças climáticas (Copernicus, 2024).

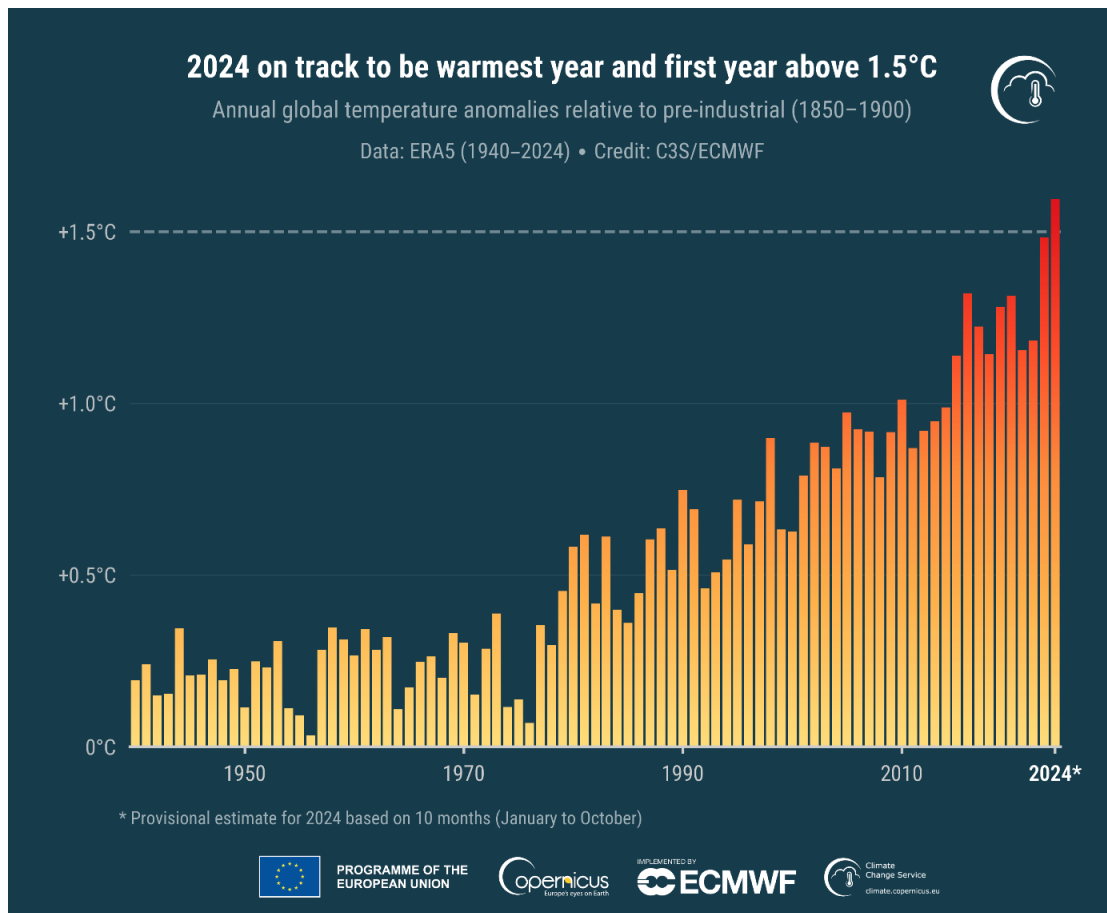
Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), caso as políticas atuais sejam mantidas, o aquecimento global poderá alcançar 3,2°C até o final do século, em comparação aos níveis do período pré-industrial. Esse aumento de temperatura já apresenta impactos significativos, como a redução das camadas de gelo, a elevação do nível do

---

<sup>1</sup> Organização Meteorológica Mundial.

mar, a acidificação dos oceanos e um aumento expressivo no risco de catástrofes, incluindo inundações, secas e incêndios florestais (IPCC, 2024). A Figura 3 ilustra o aumento da temperatura global no decorrer das décadas.

Figura 3: 2024 a caminho de ser o ano mais quente e o primeiro ano acima de 1,5°C - Anomalias anuais da temperatura global em relação ao período pré-industrial (1850–1900).



Fonte: Copernicus Climate Change Service (2024). Disponível em: < <https://climate.copernicus.eu/copernicus-second-warmest-november-globally-confirms-expectation-2024-warmest-year> >. Acesso em 20 jan. 2025.

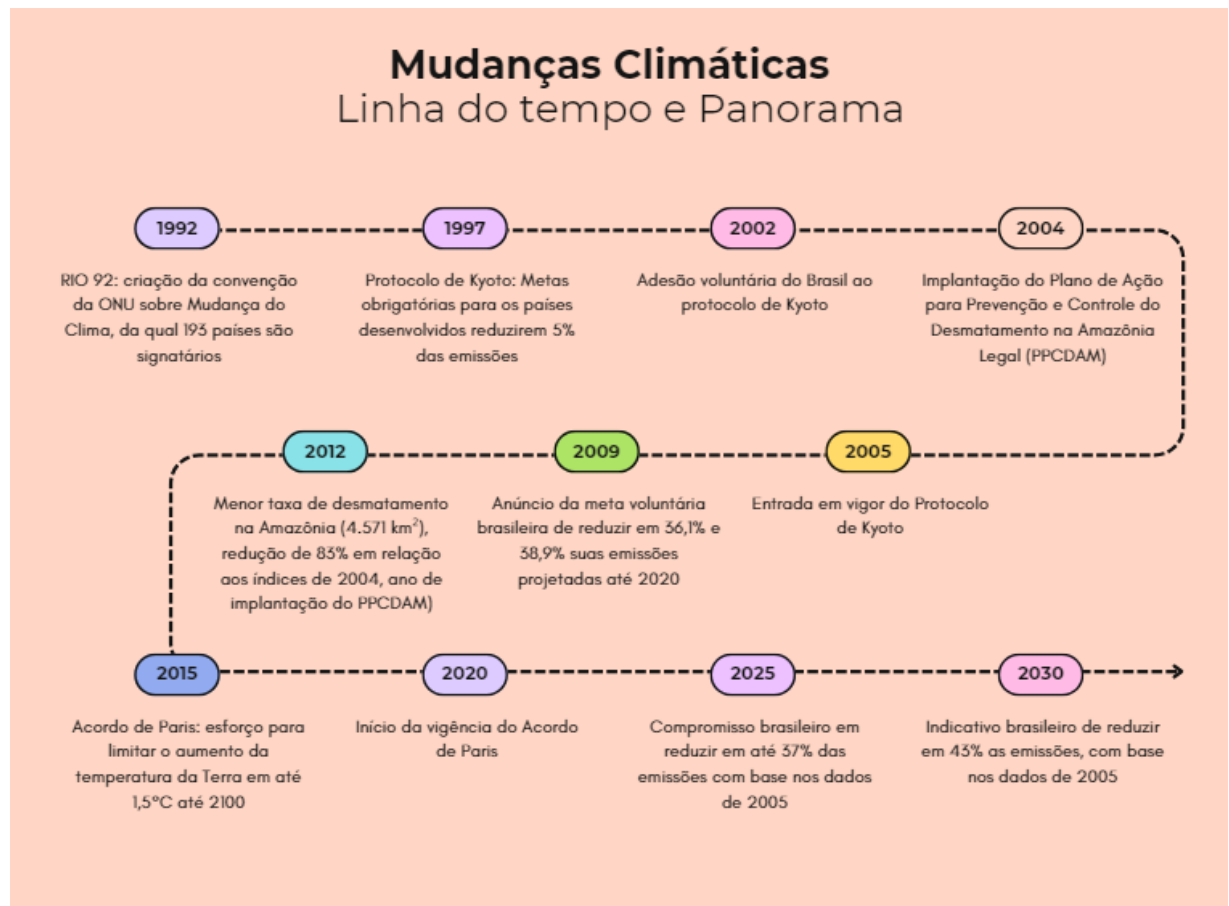
Logo, entende-se que o processo de desenvolvimento socioeconômico trouxe consigo diversos efeitos negativos ao meio ambiente, o que inspirou a sociedade a criar ações de defesa e proteção ambiental (Daehn; Da Costa; Pereira, 2021).

Nesse contexto, o Desenvolvimento Sustentável, conceito que surgiu a partir do Relatório Brundtland – “Nosso Futuro Comum”, de 1987, define-se como “o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”, com o objetivo de promover um equilíbrio entre o crescimento econômico, a equidade social e a proteção ambiental (ONU, 2020).

Ademais, a Rio 92 ou Eco-92, como ficou conhecida a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, sediada no Rio de Janeiro em 1992, foi a segunda maior reunião das Nações Unidas sobre questões ambientais, envolvendo 178 países. Uma das convenções resultantes foi a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change* ou *UNFCCC*), a qual discute sobre o desenvolvimento sustentável e as formas de se reverter o processo de degradação ambiental (ONU, 2020).

A Figura 4 apresenta uma síntese das principais medidas envolvendo mudanças climáticas ao longo do tempo.

Figura 4: Mudanças climáticas – Linha do tempo e Panorama.



Fonte: Adaptado de Ministério do Meio Ambiente (s.d.)

Nas últimas três décadas houve um crescimento expressivo nos estudos sobre a temática ambiental, refletido na realização anual das Conferências das Partes (COP) pela ONU desde

1995. Tais conferências têm desempenhado um papel fundamental ao abordar temas como emissões de GEE e estratégias de mitigação (PNUD, 2023).

Assim sendo, a redução das emissões de GEE é urgente, e demanda ação coordenada em todos os níveis, destacando-se as COP como uma plataforma essencial para discutir estratégias eficazes, promover resiliência climática e construir um futuro sustentável e equitativo (UNFCCC, 2023).

### 1.2.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Em 2015 os países membros da ONU propuseram um documento técnico sobre o desenvolvimento sustentável de suas sociedades, intitulado “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, resultando na Agenda 2030, que definiu cinco eixos principais de atuação: Paz, Pessoas, Planeta, Prosperidade e Parcerias (Fraga; Alves, 2021).

A partir dessa agenda mundial, constituíram-se os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que se compõem por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030, conforme representado na Figura 5.

Figura 5: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: ONU (2024).

Tais objetivos preveem “ações mundiais nas áreas de erradicação da pobreza, segurança alimentar, agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, energia, água e saneamento, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudança do clima, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura, industrialização, entre outros” (ONU, 2024).

Esta dissertação analisou as possíveis relações entre o efeito das Ilhas de Calor Urbanas e variáveis socioambientais da cidade de São Paulo. Sendo assim, vinculou-se aos objetivos: (11) cidades e comunidades sustentáveis e (13) ação contra a mudança global do clima.

A discussão relacionada a cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11), foi considerada relevante pois, segundo Fraga e Alves (2021), este objetivo visa tornar cidades e comunidades mais inclusivas, seguras e sustentáveis, promovendo uma política global para assentamentos urbanos com foco ecológico, econômico e social.

Além disso, destacou-se a importância do ODS 13, uma vez que, segundo ONU (2024), suas metas incluem: fortalecer a resiliência a riscos climáticos e desastres naturais; integrar medidas climáticas nas políticas nacionais; melhorar a educação e conscientização sobre mitigação e adaptação; mobilizar US\$ 100 bilhões anuais para países em desenvolvimento e operacionalizar o Fundo Verde para o Clima e promover mecanismos de capacitação para planejamento climático, com foco em países menos desenvolvidos, mulheres, jovens e comunidades marginalizadas.

### **1.3 Gestão da Inovação Tecnológica e Sustentabilidade**

De acordo com o Manual de Oslo, a inovação é definida como a introdução de um produto (bem ou serviço) novo ou substancialmente aprimorado, ou ainda de um processo, método de marketing ou organizacional que traga mudanças significativas nas práticas empresariais, na organização do ambiente de trabalho ou nas relações externas (OCDE, 2018).

Schumpeter (1997) definiu a inovação como um motor da economia capitalista, através da “destruição criadora”, em que novos produtos e processos substituem os antigos, gerando

valor. Segundo Pereira, J.G. *et al.* (2022), a inovação pode ocorrer em diversos produtos e operações, tornando essencial para as organizações compreender os diferentes tipos de inovações, incluindo a inovação aberta (IAb), sua classificação e sua evolução ao longo do tempo, conforme a visão de Chesbrough (2003), autor pioneiro neste tema.

A IAb, centrada na integração de conhecimentos externos para impulsionar o crescimento organizacional, abrange atividades como geração de spin-offs e licenciamento de patentes não utilizadas (Pereira, J.G. *et al.*, 2022).

Assim, considerou-se a IAb pertinente ao presente trabalho, pois diz respeito à difusão do conhecimento e tecnologia. O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2024) destaca o desenvolvimento e transferência de tecnologia (DTT), conceito que se refere ao compartilhamento de ideias, conhecimentos e habilidades entre indivíduos ou instituições, para integrar ações climáticas e desenvolvimento sustentável, exigindo, portanto, abordagens flexíveis.

Daroit e Nascimento (2004) associam a inovação ao enfoque econômico, destacando que as empresas a utilizam para obter lucros extras por meio de vantagens competitivas. Fabiano e Filho (2020) mencionam, no contexto da inovação e desenvolvimento, o advento de modelos econômicos que têm provocado a escassez de recursos naturais, gerando debates sobre a sustentabilidade ambiental.

Sendo assim, evidencia-se a necessidade de uma compreensão mais ampla pelas organizações, considerando os efeitos da inovação na sociedade e no meio ambiente (Kneipp *et al.*, 2024). Segundo Martens *et al.* (2016), a inovação sustentável promove mudanças organizacionais na criação de produtos, serviços e processos, visando contribuir para as dimensões social, ambiental e econômica.

Desse modo, o avanço da Ciência, Tecnologia e Inovação, aliado à preocupação crescente com problemas ambientais, motivou a busca por soluções sustentáveis. Essa interseção deu origem à ecoinovação, definida como a aplicação de práticas inovadoras para reduzir impactos ambientais (Oliveira *et al.*, 2023).

Nesse cenário, segundo Ortega-Fernández *et al.* (2020), a inovação é essencial para cidades sustentáveis. O desenvolvimento sustentável exige ações rápidas de governos, indústria e sociedade, tornando indispensável investir em inovação para fortalecer a resiliência urbana com medidas sustentáveis e transformação digital.

### 1.3.1 Cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes

Com o avanço da urbanização as cidades se expandiram, mas também começaram a enfrentar problemas graves, como o desgaste de suas infraestruturas, a piora das condições ambientais e o aumento das desigualdades sociais (Tezza *et al.*, 2024). Desse modo, segundo Tezza *et al.* (2024), as cidades inteligentes, termo que surgiu na década de 1990, são fundamentais para criar espaços que atendam de forma mais abrangente às necessidades sociais, ambientais e econômicas, especialmente considerando que a população urbana deve crescer nos próximos anos.

As cidades inteligentes, ou *smart cities*, têm como objetivo primordial o uso de tecnologia para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos por meio de um olhar inovador sobre as cidades (Pereira, T.O. *et al.*, 2023). Logo, de acordo com os autores, a tecnologia é de suma importância, pois proporciona assistência e conecta os cidadãos com o serviço público.

Nesse contexto, podem-se citar Ortega-Fernández *et al.* (2020), os quais investigaram se uma cidade comum pode evoluir para se tornar uma *Smart City*, com base em cidades espanholas como Madrid, Barcelona, Valência, Málaga e Santander, comparando-as com Granada, que ainda não é uma cidade inteligente.

Os autores pontuaram aspectos como economia, sustentabilidade, mobilidade, governança, população e qualidade de vida, observando-se deficiências em Granada em áreas como governo digital e transporte público eficiente, o que reforça a necessidade de se implementar um painel integrado de indicadores para transformar as cidades convencionais em cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes (Ortega-Fernández *et al.*, 2020).

Cai *et al.* (2023) avaliaram se a implementação local de cidades inteligentes está associada a resultados sustentáveis no nível urbano. Os autores demonstraram que as cidades inteligentes geralmente apresentam melhores resultados de sustentabilidade em relação às cidades que não adotam o conceito.

Hui *et al.* (2023) investigaram como a integração de espaços verdes e tecnologias de cidades inteligentes podem promover a sustentabilidade ambiental por meio de uma revisão analítica-descritiva. Os resultados indicaram que áreas verdes podem impulsionar a sustentabilidade ao funcionarem como fontes de energia renovável, filtros naturais e espaços públicos, enquanto tecnologias como sensores podem monitorar fatores ambientais, como poluição e temperatura (Hui *et al.*, 2023).

Portanto, a inovação tecnológica desempenha um papel central na promoção de cidades mais sustentáveis e resilientes, ampliando o engajamento dos cidadãos e melhorando setores essenciais, como mobilidade urbana, meio ambiente, governança pública e economia (Ortega-Fernández *et al.*, 2020).

#### 1.4 Design Science Research (DSR)

O *Design Science Research* (DSR) é um método de pesquisa utilizado para desenvolver e operacionalizar o estudo cujo objetivo é criar artefatos ou recomendações, o qual pode ser aplicado tanto em ambientes acadêmicos quanto em contextos organizacionais (Dresch *et al.*, 2015). Além disso, o DSR consiste nas etapas de compreensão do problema, geração de alternativas, avaliação e reflexão e/ou comunicação (Santos, A., 2018).

De acordo com Dresch *et al.* (2015) o método DSR é focado na resolução de problemas práticos, e visa gerar conhecimento que se torne referência para o aprimoramento de teorias. Segundo os autores, o rigor é fundamental para garantir que a pesquisa seja válida e confiável, contribuindo para o avanço da base de conhecimento em uma área específica.

Além disso, o propósito do DSR é desenvolver intervenções genéricas aplicáveis em contextos semelhantes, sendo reconhecido como uma ponte entre teoria e prática, ao enfatizar a interação entre contexto, intervenção, mecanismos e resultados (Naik *et al.*, 2024).

Segundo Hevner *et al.* (2004), o pesquisador deve considerar sete critérios importantes na condução da pesquisa em DSR. A aplicação de tais critérios ao presente estudo foi pormenorizada no Capítulo 2 – Metodologia desta dissertação.

Em suma, esses critérios nortearam todo o processo de pesquisa, garantindo que este gerasse um artefato inovador, soluções a um problema específico e contribuições significativas tanto para a prática quanto para a academia. Adicionalmente, o rigor metodológico empregado assegurou a validade e confiabilidade dos resultados, demonstrando a adequação do artefato desenvolvido e a efetividade das soluções propostas conforme Hevner *et al.* (2004).

Lacerda *et al.* (2013) classificou a condução do método DSR de acordo com a articulação das contribuições, com base nos autores Takeda *et al.* (1990), Vaishnavi e Kuechler

(2009), Manson (2006) e Peffers *et al.* (2007), demonstrando os passos do processo e as saídas aplicadas, como ilustrado pela Figura 6.

Figura 6: Condução do método DSR, de acordo com Takeda *et al.* (1990), Vaishnavi e Kuechler (2009), Manson (2006) e Peffers *et al.* (2007).



Fonte: Adaptado de Lacerda *et al.* (2013).

Ademais, este estudo segue o método proposto por Peffers *et al.* (2007):

- Identificação do problema: o pesquisador define o problema e justifica a relevância da pesquisa, considerando a importância do problema e a aplicabilidade da solução;
- Definição dos resultados esperados: os objetivos da solução podem ser quantitativos ou qualitativos;
- Projeto e desenvolvimento: o artefato é desenvolvido para resolver o problema, definindo suas funcionalidades e arquitetura, com base em conhecimento teórico existente;
- Demonstração: o artefato é utilizado para resolver o problema, podendo envolver experimentação e simulação;

- Avaliação: o pesquisador mede o desempenho do artefato em relação aos requisitos definidos, podendo retornar à etapa de desenvolvimento se os resultados não atenderem às expectativas;
- Comunicação: a relevância do problema e a eficácia da solução são comunicadas, utilizando literatura acadêmica para apresentar o rigor da pesquisa.

A aplicação do método segundo Peffers *et al.* (2007) é exposto no Capítulo 2 – Metodologia.

### 1.5 Modelo estatístico de Regressão Linear Múltipla

Os modelos de regressão linear são relativamente simples e oferecem uma fórmula matemática fácil de interpretar para gerar previsões. Além disso, são de fácil aplicação em softwares e computadores (Sitompul, 2022).

De acordo com Siqueira *et al.* (2020), a regressão é sempre linear porque pressupõe correlação entre variáveis, representada graficamente por uma linha. Segundo os autores, a Regressão Linear Simples (RLS) é usada para analisar a relação de dependência entre uma variável dependente (resposta) e outra independente (preditora), enquanto a Regressão Linear Múltipla (RLM) analisa a relação entre mais de duas variáveis.

A regressão linear múltipla exige suporte teórico para orientar a coleta de dados, definindo variáveis, amostras e relações de causa e efeito (Siqueira *et al.*, 2020). Os principais indicadores da RLM são o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a variável dependente (Y), em que o  $R^2$  avalia a força da relação entre  $k$  variáveis independentes, sendo mais forte quanto mais próximo de 1 (Lisbôa *et al.*, 2020).

Conforme Lisbôa *et al.* (2020) um modelo de regressão linear múltipla estabelece a relação entre variáveis independentes (X) e a variável dependente (Y), considerando o erro estatístico, o qual inclui dois ou mais coeficientes de inclinação associados a diferentes variáveis preditoras, sendo representado na fórmula exposta pela Equação 1.

Equação 1: Fórmula base da regressão linear múltipla.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \beta_2 X_t + \beta_3 X_t + e_t$$

Fonte: Lisboa *et al.* (2020); Siqueira *et al.* (2020).

Segundo Lopes e Hora (2023) o fenômeno de ilha de calor é complexo, influenciado por fatores climáticos, antrópicos e urbanos. As autoras destacaram que a maioria dos estudos recorreu a modelos de regressão múltipla para mensurar essas variações, considerando, em geral, entre 4 e 8 variáveis, principalmente aquelas relacionadas à vegetação, áreas construídas, morfologias urbanas e presença de água.

A Figura 7 ilustra um exemplo de aplicação de regressão linear múltipla em um estudo sobre ICU na cidade de Goiânia, GO – Brasil. De acordo com Lopes, Nascimento e Hora (2024), o modelo de RLM demonstrou que a ilha de calor está fortemente relacionada a variáveis urbanas e ambientais, com áreas construídas elevando e áreas verdes reduzindo as temperaturas.

Figura 7: Exemplo de análise estatística por regressão linear múltipla das variáveis.

| Classes                | b*        | Std.Err. of b* | b         | Std.Err. of b | t(18)    | p-value  |
|------------------------|-----------|----------------|-----------|---------------|----------|----------|
|                        |           |                | 37,5145   | 11,54184      | 3,25031  | 0,004442 |
| <b>Asfalto</b>         | 0,278735  | 0,129439       | 0,00001   | 0,00005       | 2,15340  | 0,045093 |
| <b>Altitude</b>        | -0,819107 | 0,230845       | -0,04400  | 0,01240       | -3,54830 | 0,002297 |
| <b>NDVI</b>            | -0,360998 | 0,146572       | -39,75930 | 16,14308      | -2,46293 | 0,024091 |
| <b>NDBI</b>            | 0,289709  | 0,116726       | 0,00020   | 0,00009       | 2,48195  | 0,023160 |
| <b>DISTANCIAPARQUE</b> | 0,042866  | 0,261288       | 0,00010   | 0,00045       | 0,18534  | 0,855038 |
| <b>VEGETAÇÃO</b>       | -0,143688 | 0,177493       | -0,51650  | 0,63805       | -0,80954 | 0,428776 |

Fonte: Lopes, Nascimento e Hora (2024).

Portanto, o modelo estatístico de regressão linear múltipla demonstrou-se adequado ao presente estudo, pois permitiu avaliar a influência simultânea de múltiplos fatores relacionados à formação das Ilhas de Calor Urbanas (ICU).

## 2 METODOLOGIA

Este capítulo detalha o percurso metodológico adotado nesta dissertação, com ênfase na aplicação do método *Design Science Research* (DSR), que orientou cada etapa do trabalho. O desenvolvimento abrangeu desde a realização de um estudo bibliométrico até a caracterização da área de pesquisa, passando pela coleta de dados quantitativos e qualitativos, a geração de imagens geoprocessadas e a construção de um modelo estatístico de regressão linear múltipla.

### 2.1 Classificação da pesquisa

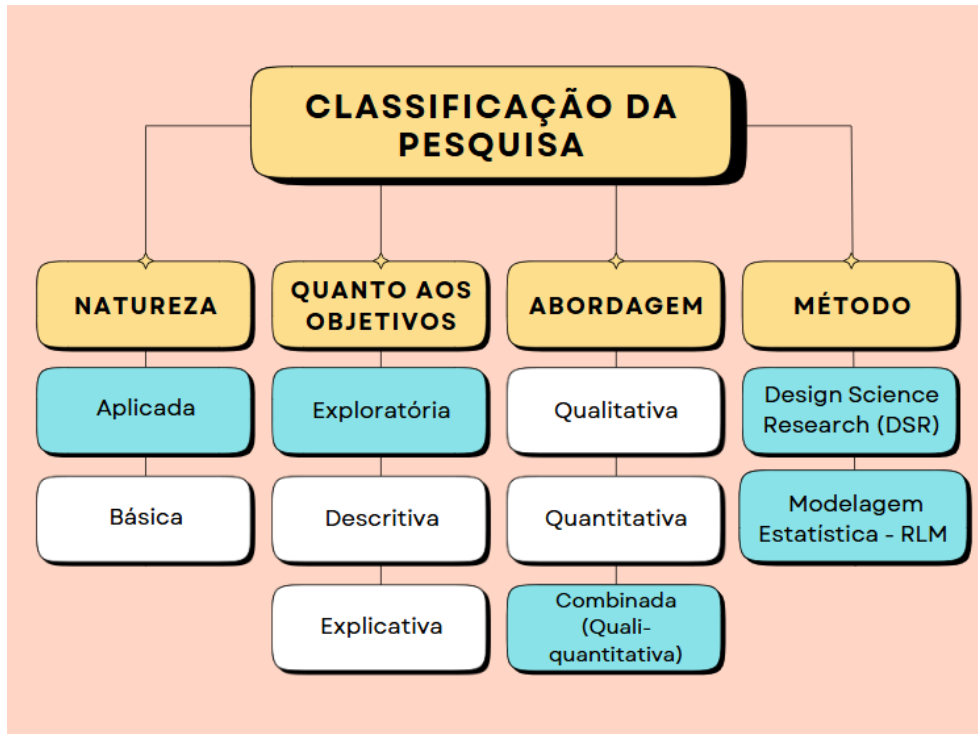
Conforme Silva e Paiva (2022), é importante escolher os instrumentos adequados para cada tipo de pesquisa, a fim de garantir resultados seguros e confiáveis. Adotou-se, nesta pesquisa, uma natureza aplicada e exploratória, além de uma abordagem quali-quantitativa.

Segundo Nascimento e Sousa (2016), a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimento para solucionar problemas específicos, visando a verdade em uma situação prática. É importante salientar que a pesquisa aplicada busca trazer inovação em múltiplas áreas do conhecimento, e se utiliza de diversos métodos de investigação, como a pesquisa baseada em *design* e suas variantes (Pereira, A., 2023).

A pesquisa exploratória busca compreender fenômenos, familiarizando o pesquisador com o tema, e é útil para identificar tendências, problemas ou oportunidades para estudos futuros (Lösch; Rambo; Ferreira, 2023). A abordagem combinada, quali-quantitativa, permite uma análise mais ampla e integrada, e é essencial para obter resultados mais completos e detalhados (Machado, 2023).

A Figura 8 sintetiza a classificação do presente estudo.

Figura 8: Classificação da pesquisa adotada no trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base em Nascimento e Souza (2016), Pereira, A. (2023), Lösch, Rambo e Ferreira (2023) e Machado (2023).

Assim, com base no fluxograma apresentado na Figura 9, o estudo foi classificado como aplicado e exploratório, com abordagem combinada (quali-quantitativa), fundamentado no método DSR e na modelagem estatística de regressão linear múltipla (RLM). A pesquisa analisou e diagnosticou o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) em São Paulo, contribuindo para o avanço científico e a proposição de soluções inovadoras.

As etapas metodológicas foram estruturadas de forma integrada, permitindo a coleta, tratamento e análise de dados a partir de técnicas qualitativas e quantitativas, garantindo um diagnóstico robusto e fundamentado.

## 2.2 Aplicação do método DSR

Este estudo é pautado pelo método DSR e, conforme apresentado no Capítulo 1 – Fundamentação Teórica, seguiu os sete critérios propostos por Hevner *et al.* (2004), os quais são expostos no Quadro 1.

Quadro 1: Critérios para a condução de pesquisas em DSR aplicados ao presente estudo.

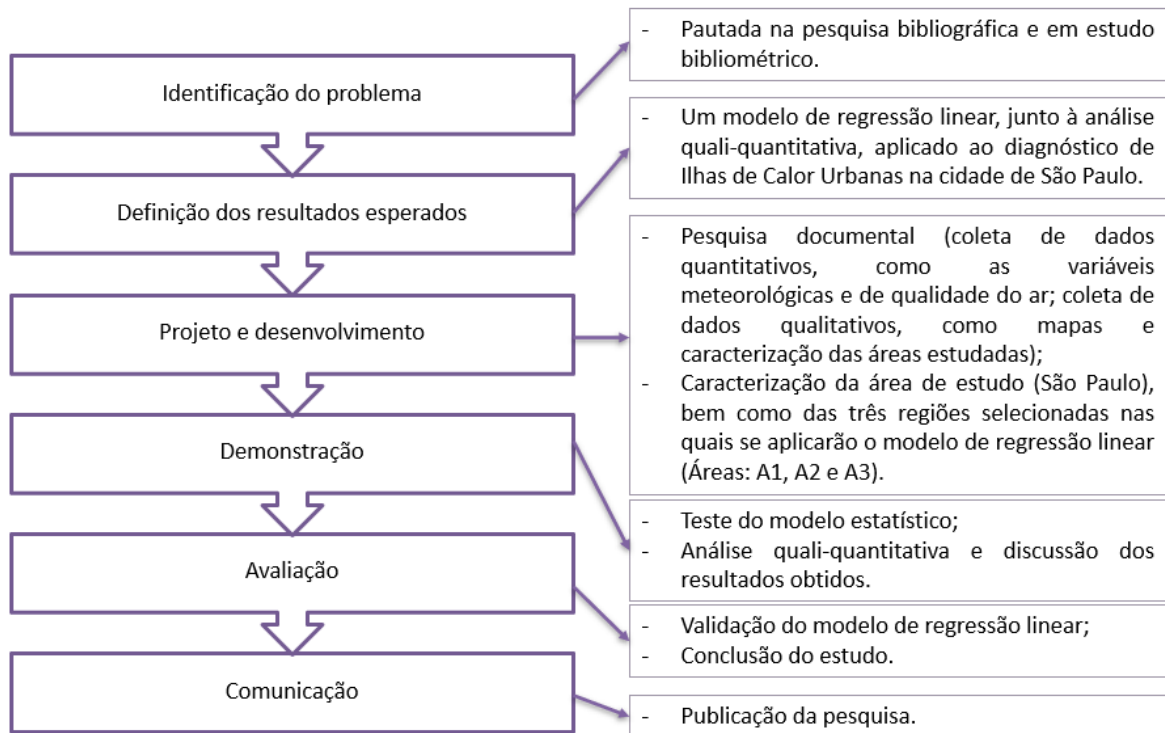
|                                     |                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Design como artefato             | O artefato desenvolvido foi um modelo de regressão linear múltipla, aliado a uma análise quali-quantitativa das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) na cidade de São Paulo.                        |
| 2. Relevância do problema           | Considerando a urgência da crise climática, o estudo busca oferecer ferramentas que auxiliem na mitigação de condições climáticas extremas.                                                 |
| 3. Avaliação do projeto             | O modelo de RLM, integrado à análise combinada, foi avaliado quanto à sua precisão e aplicabilidade.                                                                                        |
| 4. Contribuição da Pesquisa         | Esta pesquisa visa contribuir para as dimensões social e ambiental, além de apoiar futuros trabalhos relacionados ao tema.                                                                  |
| 5. Rigor da Pesquisa                | A pesquisa garantiu rigor metodológico por meio de análises bibliográficas, documentais e na elaboração do artefato.                                                                        |
| 6. Design como processo de pesquisa | O modelo estatístico foi validado, e sua eficácia foi demonstrada por meio de testes e análises.                                                                                            |
| 7. Comunicação de pesquisa          | Resultados foram estruturados para publicação e difusão do conhecimento, com o objetivo de contribuir tanto para a academia quanto para a formulação e implementação de políticas públicas. |

Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base em Hevner *et al.* (2004) e Dresch *et al.* (2015).

Conforme descrito pelo Quadro 1, a presente pesquisa atendeu aos critérios propostos por Hevner *et al.* (2004) de modo a se garantir seu rigor metodológico.

Além disso, esta dissertação seguiu as seis etapas propostas por Peffers *et al.* (2007), as quais são pormenorizadas na Figura 9.

Figura 9: Etapas do método DSR, de acordo com Peffers *et al.* (2007), aplicadas a este estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Portanto, considerou-se o método DSR como adequado à pesquisa, cuja natureza é aplicada, pois forneceu critérios rigorosos para avaliar a validade e confiabilidade do artefato, além de pautar etapas em seu desenvolvimento.

### 2.3 Estudo bibliométrico sobre Ilhas de Calor no contexto urbano

Para uma maior compreensão acerca do tema das ilhas de calor no contexto urbano, foi realizada uma pesquisa bibliográfica exploratória, acompanhada de um estudo bibliométrico.

Portanto, com a finalidade de se encontrar os estudos mais recentes e possíveis tendências dentro da temática proposta nesta dissertação, realizou-se uma busca avançada utilizando as bases de dados disponibilizadas pelo Portal de Periódicos da CAPES, em dezembro de 2024. Tal ferramenta fornece uma gama de metadados como autores, quantidade de citações, instituições, entre outras informações essenciais para um estudo bibliométrico (Facin *et al.*, 2022). Ademais, o período pesquisado contempla produções acadêmicas de 2019 a 2024.

Os critérios de busca utilizados no Portal de Periódicos da CAPES foram “palavras-chave” e “assunto”, aplicando os operadores booleanos “E” e “OU”, inicialmente abrangendo todos os tipos de publicação. Os termos de busca foram: "urban heat island" E "innovation" E "sustainability" OU "statistical" OU "urban planning", conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10: Busca inicial no Portal de Periódicos da CAPES.

The screenshot displays the search interface of the CAPES .periodicos portal. At the top, the CAPES logo and navigation links (Sobre, Acervo, Treinamentos, Informativos, Ajuda, Meu espaço) are visible. Below the header, a dark blue bar contains a home icon and the text 'Acervo > Buscar assunto'. The main search area features a 'Escopo da Busca' dropdown set to 'Buscar tudo'. Under 'Filtros de busca', the 'Assunto' filter is selected, and the search terms are entered in a structured manner:

- Operator: **E** (AND)
- Field: **Qualquer campo** (Any field)
- Operator: **Contém** (Contains)
- Term: **urban heat island**

Below this, four additional search rows are shown, each with its own operator, field, and term, followed by a delete icon (x):

- Operator: **E** (AND)
- Field: **Qualquer campo** (Any field)
- Operator: **Contém** (Contains)
- Term: **innovation**

- Operator: **E** (AND)
- Field: **Qualquer campo** (Any field)
- Operator: **Contém** (Contains)
- Term: **sustainability**

- Operator: **OU** (OR)
- Field: **Qualquer campo** (Any field)
- Operator: **Contém** (Contains)
- Term: **statistical**

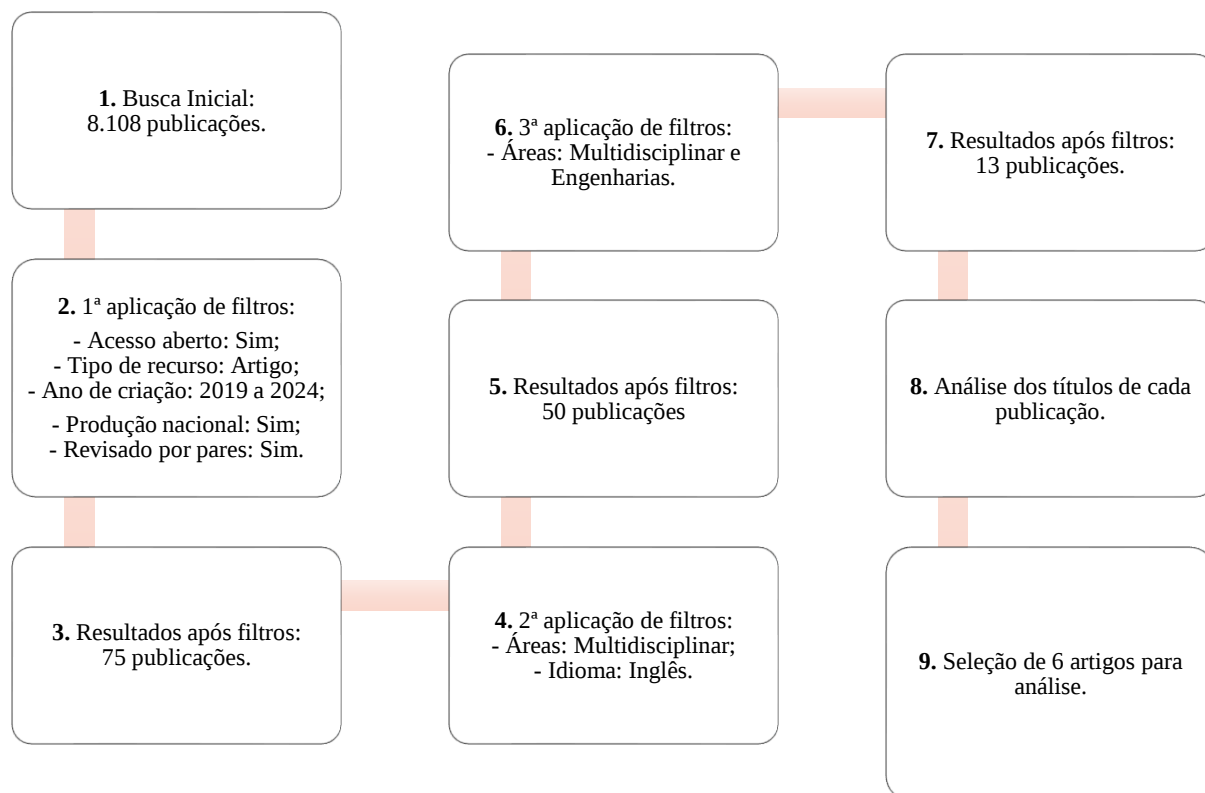
- Operator: **OU** (OR)
- Field: **Qualquer campo** (Any field)
- Operator: **Contém** (Contains)
- Term: **urban planning**

At the bottom of the search area, there are links for '+ Adicionar outro campo' (Add another field) and 'Limpar' (Clear). A large 'BUSCAR' button with a magnifying glass icon is located at the bottom right of the search area.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Para uma maior abrangência de resultados, optou-se por se utilizar a busca de termos em inglês. A busca inicial resultou em 8.108 produções acadêmicas. O método utilizado para a obtenção de estudos é apresentado na Figura 11.

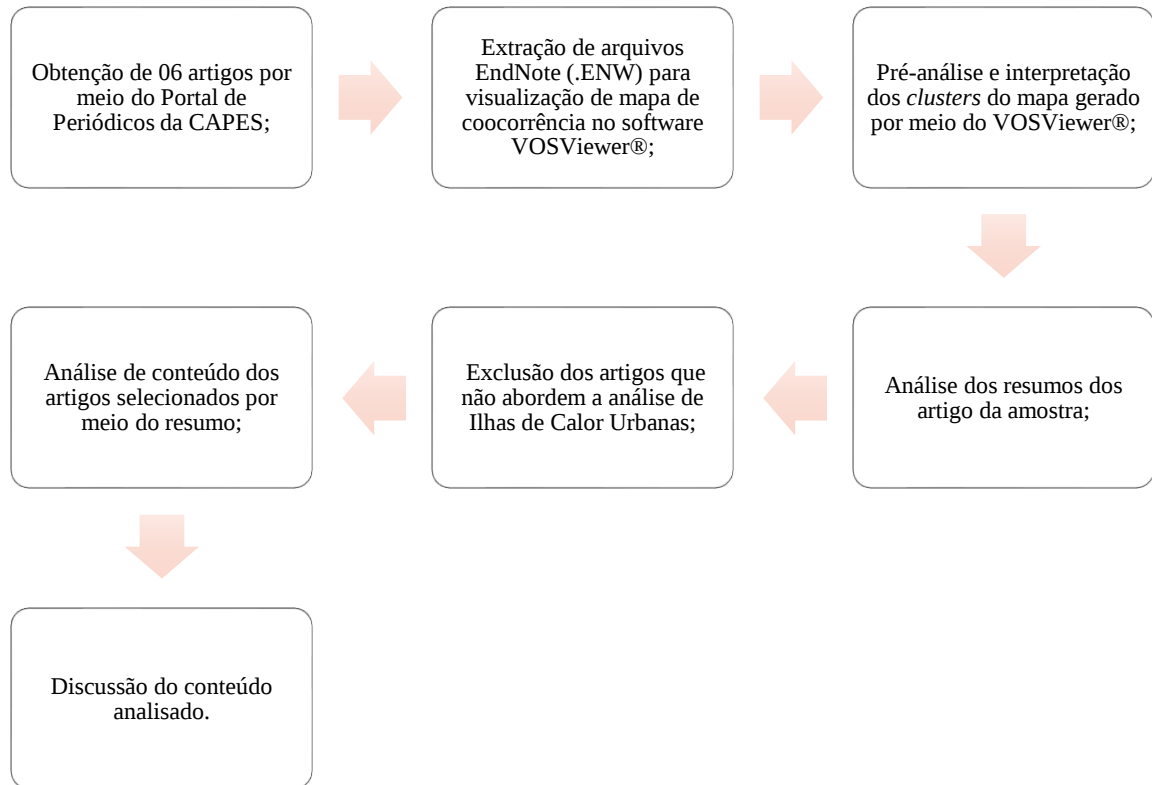
Figura 11: Processo de busca no Portal de Periódicos da CAPES.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

O estudo bibliométrico seguiu o percurso metodológico descrito na Figura 12. Foi realizada uma pré-análise por meio do software VOSViewer®, que permitiu a visualização de um mapa de coocorrência de termos, bem como de suas conexões.

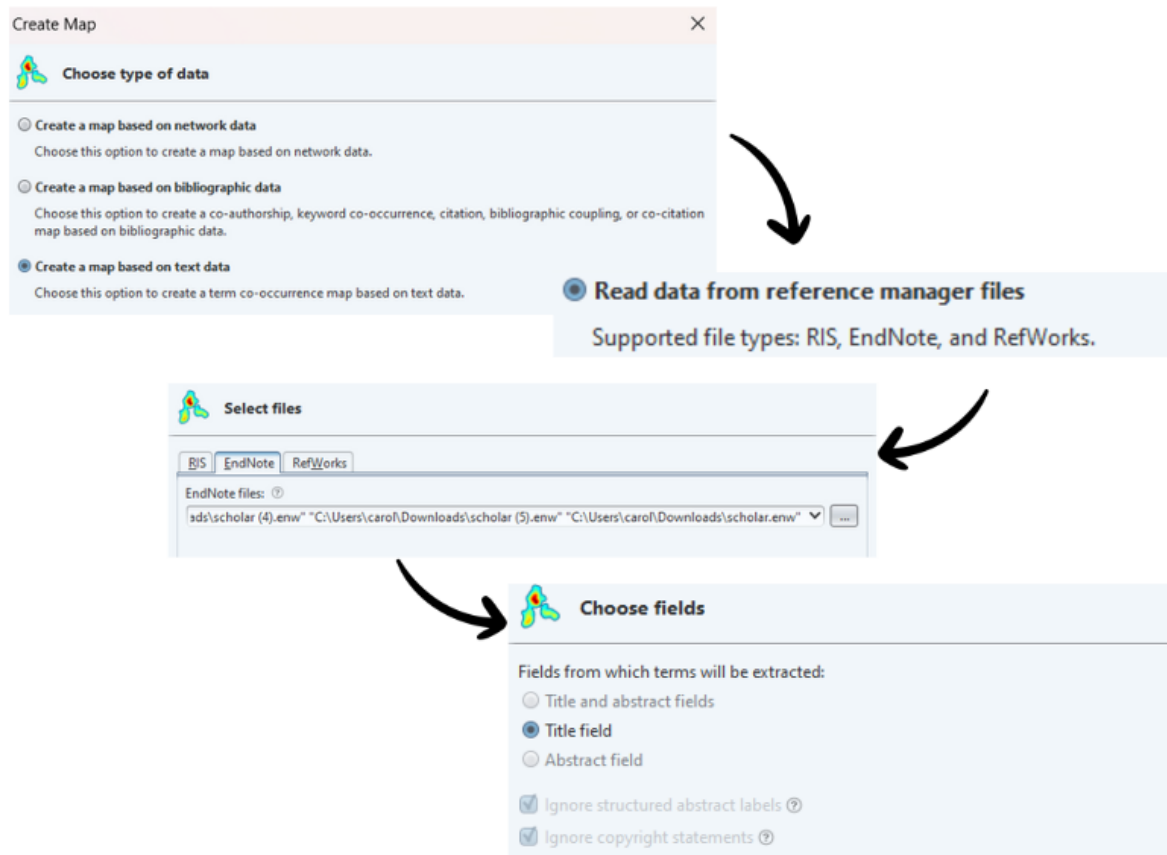
Figura 12: Etapas do estudo bibliométrico.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As figuras a seguir ilustram as etapas metodológicas aplicadas na criação do mapa de coocorrência. A Figura 13 descreve a primeira parte do processo aplicado aos dados dos artigos obtidos: (1) criação de mapa baseado em dados textuais; (2) leitura dos dados a partir de arquivos de referência, neste caso, arquivos de extensão ENW; (3) seleção dos arquivos ENW e (4) definição das áreas de extração dos termos, sendo a opção disponível 'título'.

Figura 13: Primeira parte da elaboração de mapa de coocorrência – VOSViewer®.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A Figura 14 descreve a segunda parte do processo: (1) seleção de método de contagem, em que se optou pela contagem completa de termos; (2) escolha de limite de termos; (3) escolha de número de termos, em que se selecionaram 60% dos mais relevantes; (4) verificação de termos, em que se excluíram os considerados menos relevantes; (5) seleção apenas dos itens que possuem conexão, em que se obtiveram cinco termos.

Figura 14: Segunda parte da elaboração de mapa de coocorrência – VOSViewer®.

**Choose counting method**

Counting method: ①

☐ Binary counting

☒ Full counting

**Choose threshold**

Minimum number of occurrences of a term:

Of the 33 terms, 33 meet the threshold.

**Choose number of terms**

For each of the 33 terms, a relevance score will be calculated. Based on this score, the most relevant terms will be selected. The default choice is to select the 60% most relevant terms.

Number of terms to be selected:

**Verify selected terms**

| Selected                            | Term                                              | Occurrences | Relevance |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|-----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | índice ndvi e da temperatura da superfície ter... | 1           | 1.94      |
| <input type="checkbox"/>            | município de paracatu mg entre                    | 1           | 1.94      |
| <input type="checkbox"/>            | variação                                          | 1           | 1.94      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | clima urbano                                      | 1           | 1.00      |
| <input type="checkbox"/>            | estado                                            | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | geospatial approach                               | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | hdi                                               | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | multitemporal                                     | 1           | 1.00      |
| <input type="checkbox"/>            | palmas                                            | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | sao paulo city                                    | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | tree cover                                        | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | tocantinsbrasil                                   | 1           | 1.00      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | urban sustainable development index               | 1           | 1.00      |
| <input type="checkbox"/>            | amazon region                                     | 1           | 0.70      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | impact                                            | 1           | 0.70      |
| <input type="checkbox"/>            | life                                              | 1           | 0.70      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | meteorological change                             | 1           | 0.70      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | quality                                           | 1           | 0.70      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | thermal comfort                                   | 1           | 0.70      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | temporal variability                              | 1           | 0.00      |

**Unconnected Items**

Some of the 14 items in your network are not connected to each other. The largest set of connected items consists of 5 items. Do you want to show this set of items instead of all items?

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A análise de conteúdo seguiu o método de Bardin (2011), que compõe o processo em três partes principais: a pré-análise, que envolve a imersão nos dados para conhecê-los melhor; a exploração do material, onde são identificadas as partes mais relevantes; e a análise dos resultados, que consiste em comunicar as descobertas através de relatórios ou exemplos extraídos dos textos. Os resultados de tal análise, bem como a apresentação dos mapas de coocorrência, são expostos e detalhados no Capítulo 3 – Resultados e Discussão.

## 2.4 Contextualização e caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a cidade de São Paulo, capital do estado homônimo (São Paulo, Brasil), na qual se selecionaram três sub-regiões para a análise das ICU. Para realizar

essa caracterização, adotou-se a pesquisa bibliográfica e documental, as quais incluem dados primários e secundários.

De acordo com Salge *et al.* (2021), a pesquisa documental se diferencia da bibliográfica pela natureza das fontes: enquanto a bibliográfica reúne contribuições de autores que estudaram o tema, a documental utiliza materiais brutos, como fotografias, tabelas estatísticas e relatórios corporativos.

A pesquisa documental realizou-se por meio da coleta de dados provenientes de fontes institucionais reconhecidas, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG – USP), a Secretaria Municipal de Saúde de São Paulo e a Prefeitura Municipal de São Paulo. Essas instituições forneceram informações essenciais para a análise, garantindo a confiabilidade e a relevância dos dados utilizados no estudo.

Assim sendo, de acordo com o último Censo Demográfico, realizado em 2022, o município de São Paulo possui um território de 1.521,202 km<sup>2</sup>, cuja hierarquia urbana considera-se Grande Metrópole Nacional (1A) – Município integrante do Arranjo Populacional de São Paulo/SP<sup>2</sup>, segundo o IBGE (2018).

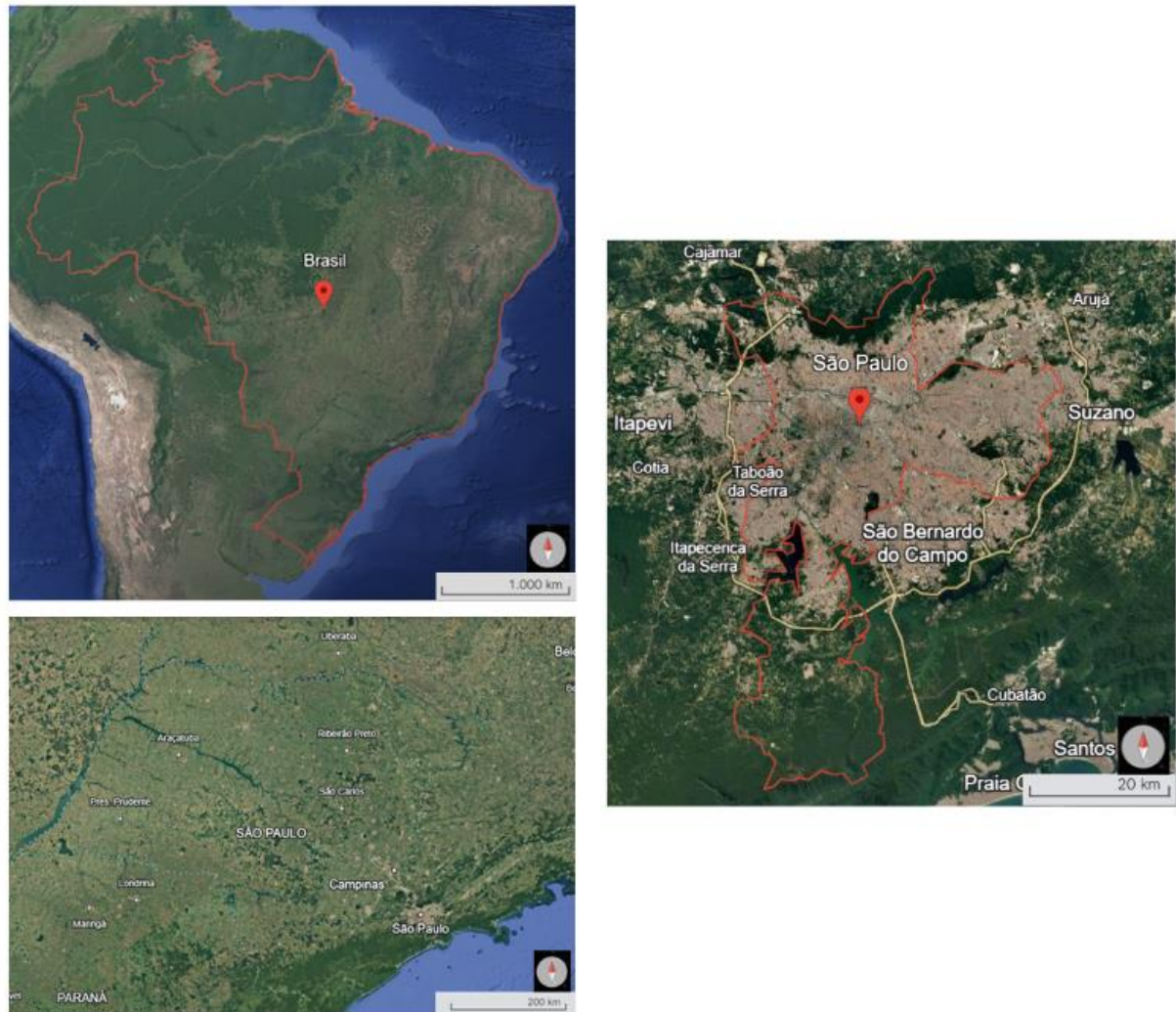
Conforme os dados do instituto, o município apresenta uma população de 11.451.999 pessoas e uma densidade demográfica de 7.528,26 habitantes por quilômetro quadrado. Em comparação com outros municípios do estado, tratando-se de sua população e densidade demográfica, respectivamente, ocupa as posições 1<sup>a</sup> e 6<sup>a</sup> entre 645 cidades; em nível federal, ocupa as posições 1<sup>a</sup> e 10<sup>a</sup> entre 5.570 cidades brasileiras (IBGE, 2022).

A Figura 15 apresenta a localização geográfica da área de estudo.

---

<sup>2</sup> A hierarquia urbana classifica as cidades conforme sua centralidade, atração de populações para acesso a bens e serviços, e articulação territorial em atividades de gestão. Existem cinco níveis hierárquicos com subdivisões: Metrópoles, Capitais Regionais, Centros Sub-Regionais, Centros de Zona e Centros Locais. Alguns municípios integrados formam Arranjos Populacionais, considerados como uma única cidade para fins de hierarquia urbana.

Figura 15: Localização da área de estudo (São Paulo, SP – Brasil).



Fonte: Elaborado pela autora, com imagens extraídas do Google Earth® em 26 nov. 2024.

O município de São Paulo integra a Região Metropolitana (RMSP), a qual é composta por 39 municípios, divididos em cinco sub-regiões, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Municípios que compõem a RMSP.

| <b>Sub-regiões da RMSP</b> | <b>Municípios</b>                                                                                                                              |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polo                       | São Paulo                                                                                                                                      |
| Norte                      | Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã.                                                                              |
| Leste                      | Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano. |
| Sudeste                    | Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul.                                   |
| Sudoeste                   | Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.                     |
| Oeste                      | Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba.                                                   |

Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base nos dados da Gestão Urbana de São Paulo (s.d.).

Dada sua densidade populacional e extensão territorial, o município de São Paulo é subdividido em 32 prefeituras regionais, no objetivo de que toda a cidade receba os cuidados necessários (Prefeitura de São Paulo, 2022). Essas prefeituras regionais estão representadas na Figura 16, bem como os 97 distritos que incluem a própria cidade de São Paulo.

Figura 16: Regiões, Prefeituras Regionais e Distritos da cidade de São Paulo.



Fonte: Prefeitura de São Paulo (2022).

Com o contexto geral do município de São Paulo estabelecido, detalham-se, a seguir, os critérios de seleção das sub-regiões analisadas, as fontes utilizadas e os métodos de coleta de dados quantitativos e qualitativos empregados. Tais etapas permitiram uma caracterização aprofundada da área de estudo e embasaram a análise quali-quantitativa e o desenvolvimento do modelo de regressão linear múltipla (RLM).

#### 2.4.1 Dados quantitativos – Coleta de dados meteorológicos, ambientais e de saúde

Para a realização desta pesquisa, a coleta de dados meteorológicos da área de estudo foi uma etapa fundamental. Com base na revisão bibliográfica, foram identificadas as principais variáveis meteorológicas que caracterizam o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) em sua tipologia atmosférica, orientando a seleção das variáveis a serem analisadas: temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), precipitação (mm) e velocidade média dos ventos (m/s). Adicionalmente, visando enriquecer a análise, foi incluída a variável referente à emissão de poluentes na cidade, em que foi coletado o dado de material particulado de 2,5 micra (MP<sub>2,5</sub>)<sup>3</sup>.

As observações meteorológicas são provenientes de três estações meteorológicas operantes na cidade de São Paulo. Segundo Feldmann *et al.* (2023), as estações “podem ser automáticas ou convencionais. Hoje, a maior parte das estações meteorológicas são automáticas ou automatizadas (com sensores dentro dos abrigos convencionais).”

Apesar de o índice de desmatamento ter um impacto significativo na formação de Ilhas de Calor Urbanas, neste estudo optou-se por não o incluir como variável no modelo de regressão devido à dificuldade de obtenção de dados precisos sobre o desmatamento nas áreas analisadas. Além disso, o foco foi direcionado para variáveis que possuem uma relação imediata e mensurável com a temperatura, como umidade, emissão de poluentes e precipitação, que são diretamente influenciadas pelas condições urbanas e atmosféricas. No entanto, reconhece-se a importância do índice de desmatamento e seu potencial impacto, o que sugere que futuras pesquisas poderão se beneficiar de sua inclusão para fornecer uma análise mais abrangente das Ilhas de Calor no contexto urbano.

Para este estudo, foram utilizados dados de estações automáticas, fornecidos pelos sites do INMET e do IAG – USP. A localização dessas estações automáticas é apresentada no Quadro 3.

---

<sup>3</sup> Partículas inaláveis finas, que “podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5 µm. Por causa do seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.” (CETESB, s.d.).

Quadro 3: Estações meteorológicas automáticas.

| <b>Estação Automática</b>            | <b>Localização</b>                                                     | <b>Coordenadas</b>              |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| (INMET – A771)<br>Mirante de Santana | Praça Vaz Guaçu - Jardim São Paulo, São Paulo – SP (Zona Norte)        | 23°29'46" S 46°37'11"W<br>792m  |
| (INMET – A701)<br>Interlagos         | SESC Interlagos (Zona Sul)                                             | 23°43'27" S 46°40'33"W<br>758m  |
| IAG – USP                            | Av. Miguel Estéfano, 4200 - Água Funda - São Paulo – SP (Zona Sudeste) | 23°38'59" S 46°37'20"W<br>791 m |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A estação INMET – Mirante de Santana funciona desde os anos 1940<sup>4</sup>, e é apresentada na Figura 17. As fotografias referentes às Figuras 17 e 18 foram capturadas *in loco* pela autora, em setembro de 2024.

Figura 17: Vista frontal e lateral da Estação automática INMET - Mirante de Santana, Zona Norte de São Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A estação INMET – Interlagos foi inaugurada em 2018<sup>5</sup>, e está representada na imagem a seguir.

<sup>4</sup> Disponível em: <https://www.abaixodezero.com/index.php?/topic/15006-hist%C3%B3ria-das-medi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-em-s%C3%A3o-paulosp/>. Acesso em 11 out. 2024.

<sup>5</sup> Disponível em: <https://www.abaixodezero.com/index.php?/topic/15006-hist%C3%B3ria-das-medi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-em-s%C3%A3o-paulosp/>. Acesso em 11 out. 2024.

Figura 18: Vista da Estação automática INMET - Interlagos, localizada dentro do SESC Interlagos - SP



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A estação automática IAG – USP (Figura 19) é a mais antiga da cidade de São Paulo, operante desde 1932, e vinculada à Universidade de São Paulo desde 1946<sup>6</sup>.

Figura 19: Estação meteorológica do IAG - USP, localizada no Parque Cientec, São Paulo.



Fonte: Jornal USP (2022). Disponível em: <https://jornal.usp.br/universidade/estacao-meteorologica-da-usp-faz-90-anos-contribuindo-para-a-pesquisa-e-difusao-da-ciencia/>. Acesso em: 10 out. 2024.

A partir da localização das estações automáticas, se definiram as áreas de análise em três regiões da cidade de São Paulo: Área 1 (A1), abrangendo a Zona Norte; Área 2 (A2),

---

<sup>6</sup> Disponível em: <https://www.abaxodezero.com/index.php?/topic/15006-hist%C3%B3ria-das-medi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-em-s%C3%A3o-paulosp/>. Acesso em 11 out. 2024.

abrangendo a Zona Sudeste; Área 3 (A3), abrangendo a Zona Sul. Assim, os dados referentes à emissão de poluentes, coletados por meio do *site* da CETESB, provêm de estações localizadas nas proximidades das estações meteorológicas previamente apresentadas, conforme o Quadro 4<sup>7</sup>.

Quadro 4: Compatibilização entre estações meteorológicas e rede automática da CETESB.

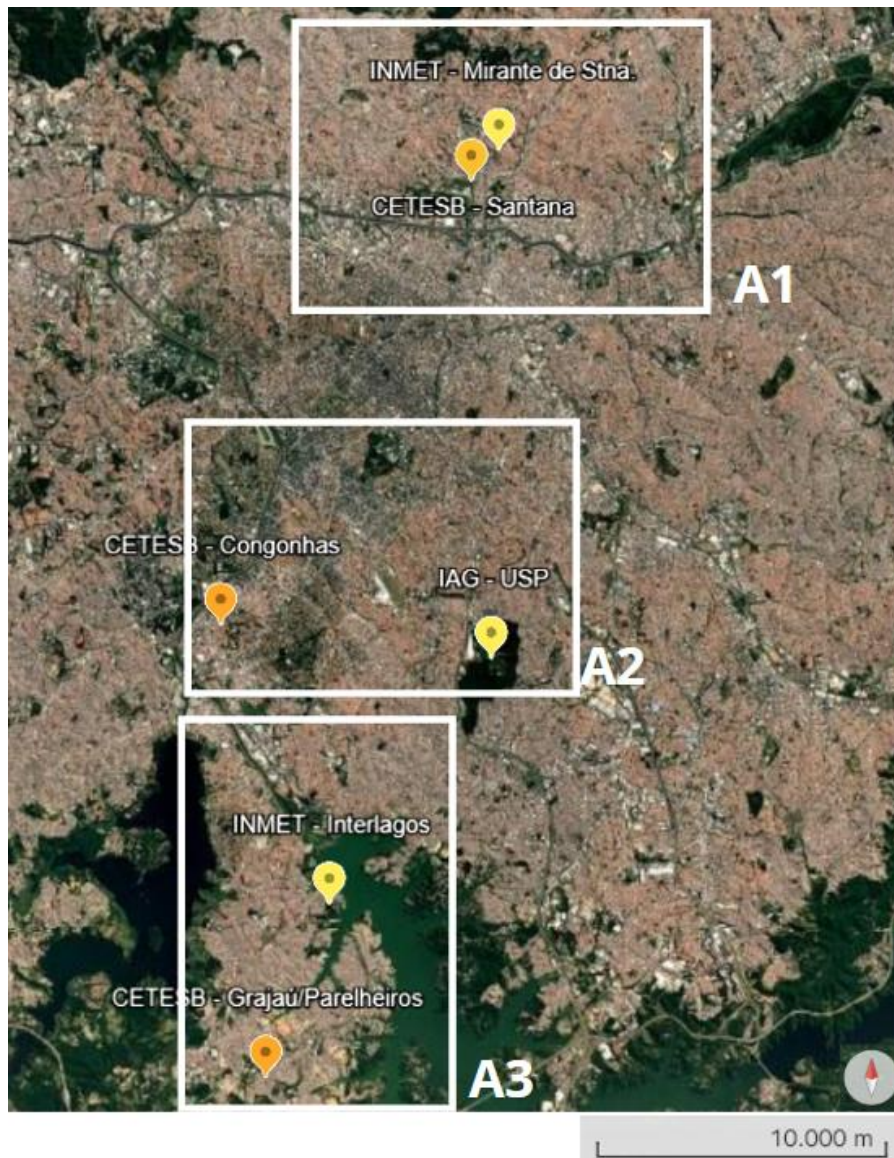
| <b>Área de Análise</b> | <b>Estação de Rede Automática CETESB</b> | <b>Estação meteorológica correspondente</b> | <b>Endereço</b>                                                                               |
|------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área 1 – “A1”          | Santana                                  | INMET – Mirante de Santana                  | Av. Santos Dumont, 1019, Parque de Material Aeronáutico, Santana, São Paulo                   |
| Área 2 – “A2”          | Congonhas                                | IAG – USP                                   | Alameda dos Tupiniquins, 1571, E.M.Prof.J.C. da Silva Borges, Planalto Paulista, São Paulo    |
| Área 3 – “A3”          | Grajaú/ Parelheiros                      | INMET – Interlagos                          | Av. Paulo Guilguer Reimberg, 2448, E.E. Pres. Tancredo A. Neves, Jd Novo Horizonte, São Paulo |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As áreas analisadas foram representadas graficamente, como demonstra a Figura 20. A representação foi elaborada por meio do site Google Earth®.

<sup>7</sup> Informações disponibilizadas pela CETESB, na página “Configuração de Rede Automática”, em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/configuracao-da-rede-automatica/>. Acesso em 11 out. 2024.

Figura 20: Representação das três áreas de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora, com imagem extraída do Google Earth® (2024).

A coleta de dados meteorológicos foi realizada por meio dos sites dos órgãos responsáveis, INMET e IAG – USP. Os dados do INMET, de acesso público, estão disponíveis na seção "Dados Meteorológicos" e podem ser baixados em formato CSV, abrangendo períodos semestrais. Os dados do IAG – USP são obtidos mediante o preenchimento de um formulário de solicitação, no qual é possível especificar as variáveis e o período desejado, sendo os arquivos recebidos por e-mail. Os Apêndices "A" e "B" apresentam exemplos das planilhas utilizadas para a seleção e categorização dos dados.

A variável relacionada à qualidade do ar, emissão de poluente (MP<sub>2,5</sub>), foi obtida por meio da CETESB, que disponibiliza os dados mediante cadastro no sistema *Qualar*<sup>8</sup>. Esse sistema permite a consulta e extração de informações de todas as estações monitoradas pelo órgão.

Após a obtenção dos dados gerais, foi realizada a seleção e categorização das variáveis a serem utilizadas na análise desta pesquisa e na construção do modelo estatístico. A Figura 21 traz um exemplo dessa etapa do processo, com uma planilha referente à A1, do ano de 2019. Esse procedimento foi repetido nas três áreas de estudo ao longo dos cinco anos do período analisado, de 2019 a 2023.

Salienta-se que o período de análise foi delimitado até 2023, uma vez que os dados referentes a 2024, embora relevantes, ainda não estavam integralmente disponíveis no momento da finalização da pesquisa.

Figura 21: Variáveis utilizadas para análise quantitativa do presente estudo.

| MESES  | T MÉDIA MENSAL (°C) | T DESV PADRÃO DA MÉDIA MENSAL (°C) | T MÁXIMA MENSAL (°C) | T MÍNIMA MENSAL (°C) | T AMPLITUDE DAS MÁXIMAS MENSAL (°C) | T MÉDIA DAS MÍNIMAS (°C) | T MÉDIA DAS MÁXIMAS (°C) | DIFERENÇA DAS MÉDIAS (°C) | U MÉDIA MENSAL (%) | U DESV PADRÃO DA MÉDIA MENSAL (%) | U MÁXIMA MENSAL (%) | U MÍNIMA MENSAL (%) | U AMPLITUDE DAS MENSAL (%) | U MÉDIA DAS MÁXIMAS (%) | U MÉDIA DAS MÍNIMAS (%) | U DIFERENÇA DAS MÉDIAS (%) | EMIÇÃO DE POLUENTE MP2,5 (µg/m3) | Média Precipitação es/Chuvas (mm) | Velocidade média dos ventos (m/s) |
|--------|---------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| jan/19 | 25,11               | 3,68                               | 35,50                | 16,50                | 19,00                               | 25,79                    | 24,44                    | 1,35                      | 64,86              | 16,48                             | 92,00               | 15,00               | 77,00                      | 68,07                   | 61,66                   | 6,41                       | 13,99                            | 0,43                              | 1,64                              |
| fev/19 | 23,09               | 3,94                               | 35,70                | 16,80                | 18,90                               | 23,63                    | 22,55                    | 1,08                      | 69,64              | 16,50                             | 91,00               | 13,00               | 78,00                      | 72,21                   | 67,07                   | 5,14                       | 11,41                            | 0,49                              | 1,89                              |
| mar/19 | 22,59               | 3,23                               | 33,90                | 15,80                | 18,10                               | 23,15                    | 22,03                    | 1,12                      | 71,92              | 13,64                             | 91,00               | 27,00               | 64,00                      | 74,51                   | 69,33                   | 5,18                       | 14,06                            | 0,30                              | 1,68                              |
| abr/19 | 22,26               | 3,18                               | 32,00                | 15,40                | 16,60                               | 22,76                    | 21,76                    | 1,00                      | 69,80              | 14,90                             | 91,00               | 26,00               | 65,00                      | 72,20                   | 67,39                   | 4,81                       | 16,76                            | 0,20                              | 1,53                              |
| mai/19 | 20,45               | 3,49                               | 29,50                | 11,50                | 18,00                               | 20,92                    | 19,99                    | 0,93                      | 70,57              | 14,18                             | 92,00               | 26,00               | 66,00                      | 72,84                   | 68,30                   | 4,54                       | 17,64                            | 0,07                              | 1,46                              |
| jun/19 | 19,03               | 3,54                               | 27,70                | 11,00                | 16,70                               | 19,53                    | 18,52                    | 1,01                      | 66,11              | 16,00                             | 92,00               | 29,00               | 63,00                      | 68,52                   | 63,70                   | 4,82                       | 20,16                            | 0,05                              | 1,30                              |
| jul/19 | 16,99               | 4,61                               | 27,40                | 6,50                 | 20,90                               | 17,54                    | 16,45                    | 1,09                      | 63,90              | 17,32                             | 92,00               | 24,00               | 68,00                      | 66,45                   | 61,35                   | 5,10                       | 20,51                            | 0,20                              | 1,38                              |
| ago/19 | 17,58               | 4,75                               | 32,00                | 9,60                 | 22,40                               | 18,10                    | 17,05                    | 1,05                      | 66,13              | 17,88                             | 89,00               | 21,00               | 68,00                      | 68,46                   | 63,80                   | 4,66                       | 19,12                            | 0,01                              | 1,88                              |
| set/19 | 19,90               | 5,41                               | 35,60                | 12,40                | 23,20                               | 20,40                    | 19,40                    | 1,00                      | 67,67              | 20,38                             | 91,00               | 13,00               | 78,00                      | 69,85                   | 65,49                   | 4,36                       | 19,18                            | 0,11                              | 1,95                              |
| out/19 | 22,16               | 4,58                               | 35,40                | 14,80                | 20,60                               | 22,78                    | 21,54                    | 1,23                      | 63,56              | 18,06                             | 91,00               | 14,00               | 77,00                      | 66,18                   | 60,93                   | 5,24                       | 17,70                            | 0,06                              | 2,02                              |
| nov/19 | 21,29               | 3,86                               | 35,70                | 14,30                | 21,40                               | 21,82                    | 20,76                    | 1,06                      | 70,46              | 13,60                             | 90,00               | 19,00               | 71,00                      | 72,77                   | 68,15                   | 4,62                       | 12,70                            | 0,16                              | 2,26                              |
| dez/19 | 22,47               | 3,46                               | 32,50                | 15,00                | 17,50                               | 23,03                    | 21,92                    | 1,11                      | 69,57              | 13,92                             | 92,00               | 21,00               | 71,00                      | 72,12                   | 67,01                   | 5,10                       | 12,67                            | 0,35                              | 2,01                              |
| 2019   | 21,07               | 4,64                               | 35,70                | 6,50                 | 29,20                               | 21,61                    | 20,52                    | 1,09                      | 67,85              | 16,43                             | 92,00               | 13,00               | 79,00                      | 70,33                   | 65,33                   | 5,00                       | 16,51                            | 0,20                              | 1,75                              |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Dados provenientes da Secretaria Municipal da Saúde do município de São Paulo também foram coletados para enriquecimento da pesquisa, por meio do Boletim CEInfo – Saúde em Dados (2024)<sup>9</sup>, o qual é publicado pelo órgão responsável anualmente. Tais dados são categorizados por Coordenadoria Regional de Saúde (CRS)/ Supervisão Técnica de Saúde (STS) ou por Subprefeitura. De modo a se correlacionar às áreas de estudo, foram adotadas as informações por CRS/ STS, conforme o Quadro 5.

<sup>8</sup> Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>. Acesso em 11 out. 2024.

<sup>9</sup> Disponível em: [https://capital.sp.gov.br/web/saude/w/epidemiologia\\_e\\_informacao/258529](https://capital.sp.gov.br/web/saude/w/epidemiologia_e_informacao/258529). Acesso em 11 out. 2024.

Quadro 5: Áreas de estudo e CRS/ STS correspondentes.

| <b>Área de estudo</b> | <b>CRS/ STS correspondente</b>    |
|-----------------------|-----------------------------------|
| A1                    | Norte – Santana/ Jaçanã           |
| A2                    | Sudeste – Vila Mariana/ Jabaquara |
| A3                    | Sul – Capela do Socorro           |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Além dos dados quantitativos, com o objetivo de aprofundar a caracterização das áreas de estudo e o fenômeno das ilhas de calor urbanas atmosféricas, foram utilizados dados qualitativos para visualizar a distribuição da temperatura e da cobertura do solo ao longo do período analisado (2019 a 2023). Para isso, foram adotadas ferramentas de geoprocessamento, as quais estão detalhadas na subseção a seguir.

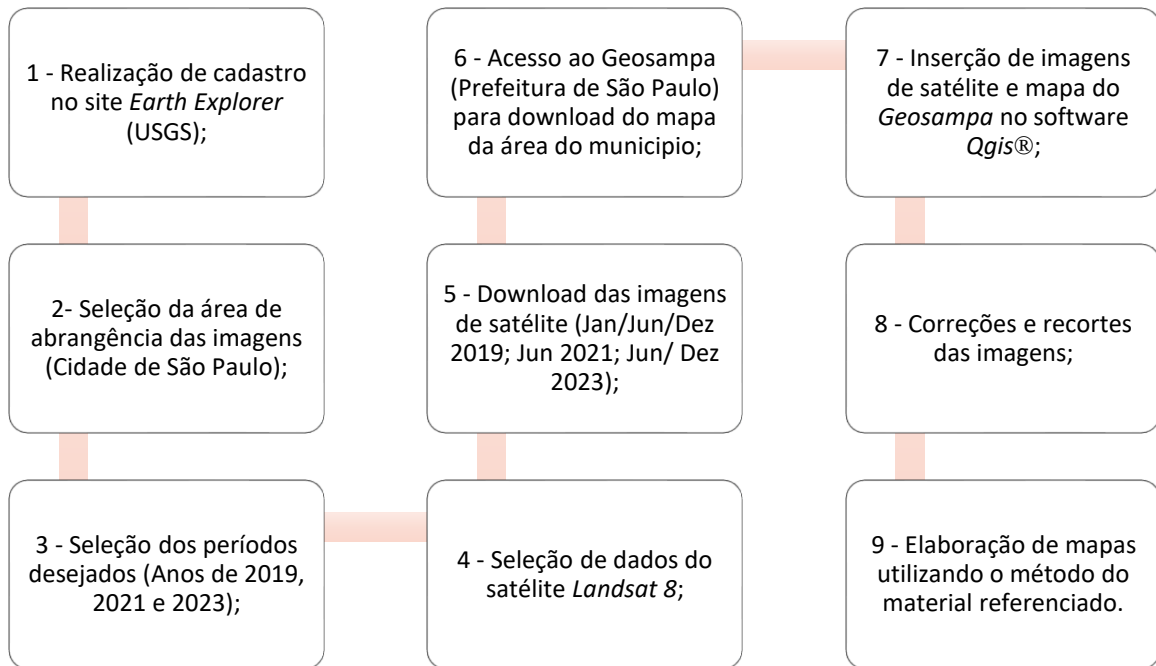
#### *2.4.2 Elaboração de imagens geoprocessadas da cidade de São Paulo – SP, Brasil*

A fim de se complementar a análise quali-quantitativa proposta neste estudo, foi de fundamental importância se representar graficamente a cobertura e temperatura do solo dentro do período estudado, no qual se adotaram, para esta análise, os anos de 2019, 2021 e 2023.

Para isso, utilizaram-se ferramentas de geoprocessamento, que incluíram o manuseio de imagens de satélite com auxílio do software *QGIS®*.

A Figura 22 apresenta o percurso metodológico percorrido para a obtenção dos mapas de cobertura e temperatura do solo.

Figura 22: Etapas para elaboração dos mapas de cobertura e temperatura de solo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Portanto, os mapas foram obtidos com o uso de imagens do satélite *Landsat 8*, disponibilizadas pelo site *Earth Explorer* (*United States Geological Survey* - USGS)<sup>10</sup>.

Imagens foram obtidas para seis datas específicas: 21 de janeiro de 2019, 14 de junho de 2019, 7 de dezembro de 2019, 3 de junho de 2021, 25 de junho de 2023 e 18 de dezembro de 2023. O plano inicial consistia na coleta de imagens de três períodos em cada ano (janeiro, junho e dezembro). No entanto, em 2021 e 2023, não foi possível obter imagens com qualidade suficiente para análise em todas essas datas. Para garantir uma comparação mais precisa, esta pesquisa selecionou três imagens representativas: dezembro de 2019 (início do período analisado), junho de 2021 (ponto intermediário) e dezembro de 2023 (período final).

O método de elaboração dos mapas de cobertura e temperatura do solo seguiu as etapas sugeridas pelos canais *Complemento Geo* (2021) e *Terra Urbanizada* (2021), disponíveis para consulta no site *YouTube*®, que possibilitaram a visualização do índice de cobertura verde e temperatura do solo no período proposto.

A representação e análise de tais imagens são disponibilizadas no Capítulo 3 (Resultados e discussão).

<sup>10</sup> Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 13 out. 2024.

## 2.5 Modelo Estatístico de Regressão Linear Múltipla

Segundo Yuvaraj (2020) o modelo de regressão linear múltipla é particularmente adequado para analisar a ocorrência de ilhas de calor, pois possibilita estudar diversos fatores que influenciam o fenômeno, além de interrelacionar variáveis climáticas e urbanas.

Assim sendo, foram selecionadas três áreas representativas da cidade, de acordo com a localização das estações automáticas: Zona Norte – Bairro Santana (A1), Zona Sudeste – Bairros Água Funda/Jabaquara (A2) e Zona Sul – Bairros Interlagos/Grajaú/Parelheiros (A3). A variável dependente (efeito ou resposta) selecionada foi a temperatura média mensal do ar (°C), enquanto as variáveis independentes (preditoras ou causas) consideradas foram umidade relativa do ar – média mensal (%), precipitação – média mensal (mm), velocidade dos ventos – média mensal (m/s) e emissão de poluentes – média mensal ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Para a construção do modelo foram considerados os dados dos anos de 2019 a 2023.

A seleção das variáveis é fundamental para compreender o fenômeno das ICU, já que cada uma desempenha um papel importante nas dinâmicas térmicas. Conforme verificado na literatura, a umidade influencia diretamente a percepção do calor, enquanto a emissão de poluentes pode intensificar os efeitos desse fenômeno. A precipitação afeta a evaporação e contribui para a formação de camadas de ar quente próximo ao solo, e a velocidade do vento auxilia na dissipação ou retenção do calor.

Tais variáveis, analisadas por meio do modelo de regressão múltipla, permitem captar interações complexas e fatores locais, proporcionando uma análise mais detalhada e precisa das condições térmicas urbanas (Yuvaraj, 2020).

### 2.5.1 Procedimentos estatísticos e construção do modelo

Para a obtenção de resultados precisos por meio de um modelo de regressão linear múltipla, fez-se necessário seguir os pressupostos apresentados no Quadro 6, com base em Myers *et al.* (2016).

Quadro 6: Pressupostos para um modelo de regressão linear múltipla.

| <b>Pressuposto</b>                                                                                                                             | <b>Descrição ou motivo</b>                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. As variáveis explicativas não são aleatórias ou estocásticas, mas controladas, assumindo valores fixos em amostras repetidas.               | As variáveis independentes (explicativas) precisam ter valores determinados e consistentes para que os resultados sejam confiáveis. Isso significa que elas não podem variar de forma imprevisível entre diferentes amostras. |
| 2. Não existe uma relação linear exata entre os valores amostrais de duas ou mais variáveis explicativas (não multicolinearidade).             | As variáveis independentes não podem estar altamente correlacionadas entre si. Caso contrário, será difícil determinar qual delas realmente influencia a variável dependente.                                                 |
| 3. $U_i = 0$ , para todo $i = 1, \dots, n$ ; ou seja, o valor esperado ou médio de cada $U_i$ deve ser zero.                                   | O erro médio ( $U_i$ ) esperado para cada observação precisa ser zero. Isso garante que o modelo não apresente viés nos seus cálculos.                                                                                        |
| 4. $\text{Var}(U_i) = \sigma^2$ , para todo $i = 1, \dots, n$ ; ou seja, a variância do termo de erro deve ser constante (homoscedasticidade). | A dispersão (variância) dos erros deve ser igual em todas as observações, garantindo que o modelo seja consistente ao longo dos dados.                                                                                        |
| 5. $\text{Cov}(U_i) = 0$ , para todo $i \neq j$ ; ou seja, os erros não estão autocorrelacionados.                                             | Os erros de uma observação não devem influenciar os erros de outra. Isso assegura que cada observação seja independente das demais.                                                                                           |
| 6. Os erros estão distribuídos normalmente, $U_i \sim N(0, \sigma^2)$ .                                                                        | Os erros seguem uma distribuição normal com média zero e variância constante. Esse pressuposto é fundamental para a realização de testes estatísticos, como testes de significância e construção de intervalos de confiança.  |

Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base em Myers *et al.* (2016).

As variáveis independentes escolhidas estão relacionadas ao clima e às condições ambientais externas. Essas não podem ser controladas artificialmente nem manipuladas pelo pesquisador no decorrer do estudo. Por isso, os modelos correspondentes a cada área não

atendem ao pressuposto de que: “as variáveis explicativas não devem ser aleatórias ou estocásticas, mas sim controladas, assumindo valores fixos em amostras repetidas.”

O modelo pressupõe que não há uma relação linear perfeita entre duas ou mais variáveis independentes ( $x_1, x_2, \dots, x_k$ ). Se houver multicolinearidade, os coeficientes de regressão ( $b_j$ ) podem ser imprecisos, dificultando a interpretação e o ajuste do modelo. Portanto, para minimizar esse problema, as variáveis são codificadas no intervalo  $[-1;1]$ , usando a fórmula apresentada na Equação 2, com base em Myers *et al.* (2016).

Equação 2: Fórmula de Codificação de Variáveis.

$$\hat{x} = \frac{2x - (x_A + x_B)}{x_A - x_B}$$

Fonte: Myers *et al.* (2016).

Logo, para a verificação e validação dos pressupostos apresentados no Quadro 6, foram realizados os seguintes testes estatísticos:

- Ausência de multicolinearidade: a multicolinearidade ocorre quando há alta correlação entre variáveis independentes, isto é, quando uma delas pode ser explicada por outras. Esse problema pode ser identificado por meio do Fator de Inflação da Variância (VIF), sendo indicativo de multicolinearidade quando o valor é superior a 10 (Hair *et al.*, 2010).
- Valor esperado dos resíduos igual a zero: este pressuposto estabelece que o valor esperado dos erros seja igual a zero, ou seja,  $E(U_i) = 0$ . Segundo Myers *et al.* (2016), esse pressuposto garante que, em média, os erros não influenciem os coeficientes estimados, o que contribui para a ausência de viés nos resultados do modelo.
- Homoscedasticidade do modelo: a homoscedasticidade diz respeito à constância da variância dos erros em relação às variáveis independentes (Hair *et al.*, 2010). Segundo Soares *et al.* (2019), pode-se utilizar o teste de White, amplamente empregado em modelos de regressão. Nesse teste, a hipótese nula ( $H_0$ ) assume que não há heteroscedasticidade, ou seja, a variância dos erros é constante. Valores de significância superiores a 0,05 indicam que  $H_0$  não deve ser rejeitada, sugerindo que o modelo apresenta homoscedasticidade.

- Ausência de autocorrelação nos resíduos: pressupõe que os erros do modelo não estejam autocorrelacionados, ou seja, que os resíduos sejam independentes entre si. Para verificar esse pressuposto, foi aplicado o teste de *Ljung-Box*, conforme proposto por Ljung e Box (1978), o qual avalia a presença de autocorrelação serial nos resíduos. A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste assume que não há autocorrelação, enquanto a hipótese alternativa ( $H_1$ ) indica a existência de dependência entre os resíduos. Paralelamente, foi realizada a análise visual do correlograma, que representa os coeficientes de autocorrelação para diferentes defasagens. A ausência de barras significativas fora dos limites de confiança no correlograma, combinada com valores de significância (p-valor) superiores a 0,05 no teste de *Ljung-Box*, indica que não há evidências de autocorrelação nos resíduos.
- Normalidade dos resíduos: a normalidade dos resíduos é fundamental para a realização de inferências estatísticas, como testes de significância e construção de intervalos de confiança (Myers *et al.*, 2016). Para verificar esse pressuposto, foi aplicado o teste de *Jarque-Bera*, que avalia a simetria (coeficiente de *skewness*) e a curtose dos resíduos, comparando-os à distribuição normal. A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste assume que os resíduos seguem distribuição normal. Assim, valores de  $p > 0,05$  indicam que não há evidência estatística para rejeitar a normalidade, o que confirma o atendimento a esse pressuposto.

Para todos os testes foi adotado um nível de significância de  $\alpha = 0,05$ , um valor que representa um equilíbrio entre o poder estatístico e o controle de erros. Essa convenção amplamente utilizada oferece uma probabilidade razoável de erro e flexibilidade para ajustes conforme as circunstâncias específicas do estudo. Também facilita a tomada de decisões práticas, permite comparações diretas com outros estudos e está alinhado com muitas práticas estatísticas comuns.

Após a coleta de dados referente a cada área de estudo (A1, A2 e A3), estes foram colocados em planilha Excel®, categorizados e estandardizados a fim de se normalizar as variáveis, facilitando a comparação entre elas. A Figura 23 exemplifica esta primeira etapa da construção do modelo. Além disso, os Apêndices “C”, “D” e “E” expõem integralmente as tabelas utilizadas para a construção do modelo estatístico de regressão linear múltipla nas áreas estudadas.

Figura 23: Estandarização das variáveis para construção do modelo – Exemplo da Área 1/ Área Norte (A1/ AN).

| Ano    | T MÉDIA MENSAL (°C) | U MÉDIA MENSAL (%) | EMIÇÃO DE POLUENTE MP2,5 (µg/m3) | Média Precipitações/Chuvas (mm) | Velocidade média dos ventos (m/s) | U MÉDIA MENSAL (%) Estandarizada | EMIÇÃO DE POLUENTE MP2,5 (µg/m3) Estandarizada | Média Precipitações/Chuvas (mm) Estandarizada | Velocidade média dos ventos (m/s) Estandarizada | T Estimado com o modelo obtido (°C) | Erro próximo a zero |
|--------|---------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
|        | TAN                 | UAN                | EPAN                             | PAN                             | VAN                               | UAN                              | EPAN                                           | PAN                                           | VAN                                             |                                     |                     |
| jan/19 | 25,11               | 64,96              | 13,99                            | 0,43                            | 1,84                              | 0,2                              | 0,43                                           | -0,19                                         | -0,45                                           | 23,0739                             | 2,04                |
| fev/19 | 23,09               | 69,64              | 11,41                            | 0,49                            | 1,89                              | -0,26                            | 0,74                                           | -0,37                                         | -0,56                                           | 23,3881                             | -0,30               |
| mar/19 | 22,59               | 71,92              | 14,06                            | 0,30                            | 1,86                              | -0,46                            | 0,42                                           | 0,17                                          | -0,46                                           | 21,0149                             | 1,58                |
| abr/19 | 22,26               | 69,90              | 16,76                            | 0,20                            | 1,53                              | -0,27                            | 0,1                                            | 0,46                                          | -0,35                                           | 19,9845                             | 2,27                |
| mai/19 | 20,45               | 70,57              | 17,64                            | 0,07                            | 1,46                              | -0,35                            | 0                                              | 0,82                                          | -0,28                                           | 18,7589                             | 1,70                |
| jun/19 | 19,03               | 66,11              | 20,16                            | 0,05                            | 1,30                              | 0,08                             | -0,3                                           | 0,87                                          | -0,14                                           | 18,7307                             | 0,29                |
| jul/19 | 16,99               | 63,90              | 20,51                            | 0,20                            | 1,38                              | 0,3                              | -0,34                                          | 0,46                                          | -0,21                                           | 20,0176                             | -3,03               |
| ago/19 | 17,58               | 66,13              | 19,12                            | 0,11                            | 1,88                              | 0,08                             | -0,18                                          | 1                                             | -0,66                                           | 18,8716                             | -1,09               |
| set/19 | 19,90               | 67,67              | 19,18                            | 0,11                            | 1,95                              | -0,06                            | -0,18                                          | 0,72                                          | -0,72                                           | 18,4185                             | 0,35                |
| out/19 | 22,16               | 63,56              | 17,70                            | 0,06                            | 2,02                              | 0,33                             | -0,01                                          | 0,85                                          | -0,78                                           |                                     |                     |
| nov/19 | 21,29               | 70,46              | 12,70                            | 0,16                            | 2,26                              | -0,34                            | 0,59                                           | 0,58                                          | -1                                              |                                     |                     |
| dez/19 | 22,47               | 69,57              | 12,67                            | 0,35                            | 2,01                              | -0,25                            | 0,59                                           | 0,03                                          | -0,77                                           |                                     |                     |
| jan/20 | 22,94               | 69,75              | 11,35                            | 0,38                            | 2,00                              | -0,27                            | 0,75                                           | -0,04                                         | -0,77                                           |                                     |                     |
| fev/20 | 21,80               | 76,91              | 9,68                             | 0,71                            | 1,86                              | -0,97                            | 0,95                                           | -0,99                                         | -0,64                                           |                                     |                     |
| mar/20 | 21,48               | 69,91              | 12,72                            | 0,09                            | 2,07                              | -0,28                            | 0,58                                           | 0,76                                          | -0,83                                           |                                     |                     |
| abr/20 | 20,11               | 66,13              | 13,38                            | 0,01                            | 1,90                              | 0,08                             | 0,51                                           | 0,99                                          | -0,68                                           |                                     |                     |
| mai/20 | 17,74               | 63,54              | 16,69                            | 0,01                            | 1,83                              | 0,33                             | 0,11                                           | 0,98                                          | -0,61                                           |                                     |                     |
| jun/20 | 19,27               | 66,65              | 16,03                            | 0,21                            | 1,65                              | 0,03                             | 0,19                                           | 0,42                                          | -0,46                                           |                                     |                     |
| jul/20 | 18,49               | 62,72              | 17,83                            | 0,02                            | 1,84                              | 0,41                             | -0,02                                          | 0,98                                          | -0,62                                           |                                     |                     |
| ago/20 | 17,54               | 66,90              | 18,96                            | 0,09                            | 1,67                              | 0                                | -0,16                                          | 0,77                                          | -0,47                                           |                                     |                     |
| set/20 | 21,92               | 60,39              | 24,74                            | 0,02                            | 1,75                              | 0,64                             | -0,85                                          | 0,97                                          | -0,54                                           |                                     |                     |
| out/20 | 21,59               | 65,95              | 17,32                            | 0,28                            | 1,99                              | 0,1                              | 0,03                                           | 0,21                                          | -0,76                                           |                                     |                     |
| nov/20 | 20,59               | 68,69              | 12,59                            | 0,20                            | 1,88                              | -0,16                            | 0,6                                            | 0,46                                          | -0,65                                           |                                     |                     |
| dez/20 | 22,56               | 72,05              | 9,95                             | 0,36                            | 1,42                              | -0,49                            | 0,92                                           | -0,01                                         | -0,25                                           |                                     |                     |
| jan/21 | 23,97               | 69,71              | 12,52                            | 0,28                            | 1,05                              | -0,26                            | 0,61                                           | 0,22                                          | 0,07                                            |                                     |                     |
| fev/21 | 22,60               | 71,48              | 13,01                            | 0,30                            | 1,61                              | -0,44                            | 0,55                                           | 0,17                                          | -0,6                                            |                                     |                     |
| mar/21 | 23,53               | 68,61              | 12,95                            | 0,16                            | 1,35                              | -0,16                            | 0,56                                           | 0,57                                          | -0,19                                           |                                     |                     |
| abr/21 | 19,84               | 69,66              | 10,35                            | 0,08                            | 0,11                              | -0,26                            | 0,87                                           | 0,81                                          | 0,9                                             |                                     |                     |

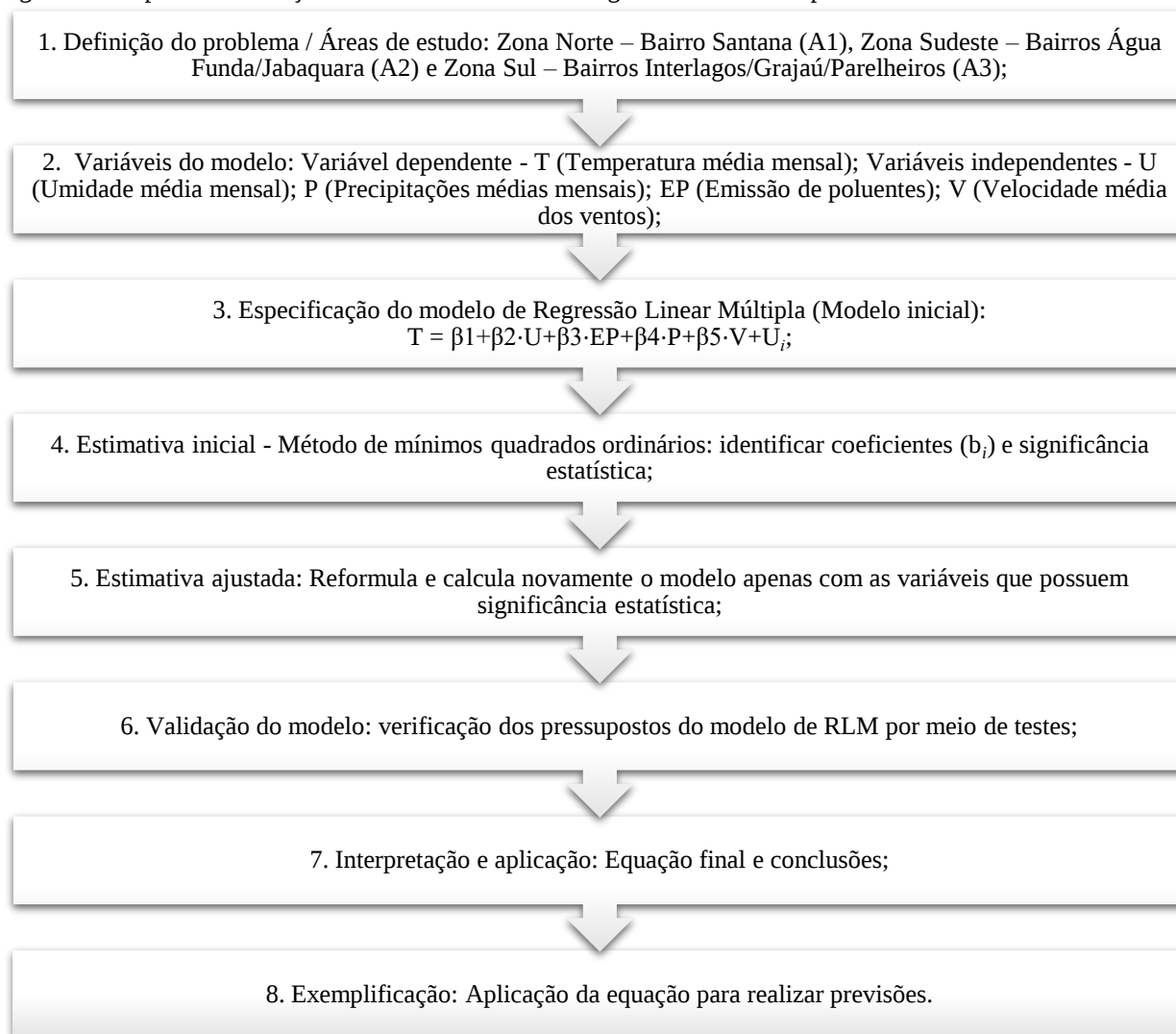
$$\hat{x} = \frac{2x - (x_A + x_B)}{x_A - x_B}$$

Essa fórmula ajusta a variável para que os valores estejam distribuídos simetricamente ao redor de zero, com valores entre -1 e 1. O valor de  $x^{\wedge}x^{\wedge}$  (a variável reescalada) terá média zero e desvio uniforme, facilitando a análise das variáveis e contribuindo para mitigar a multicolinearidade.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os testes da modelagem de regressão linear múltipla (RLM) foram conduzidos individualmente para cada região (A1, A2 e A3) e, posteriormente, considerando as três áreas de forma conjunta. A construção do modelo e a realização dos testes foram realizadas com o auxílio do software *EViews*®<sup>11</sup>. A Figura 24 apresenta as etapas do processo de construção do modelo estatístico, repetido tanto para cada região isoladamente quanto para a análise unificada das três áreas.

Figura 24: Etapas de construção do modelo estatístico de regressão linear múltipla.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

<sup>11</sup> O *EViews* (Econometric Views) é um software para Windows utilizado na modelagem econométrica e análise estatística de dados, amplamente adotado por instituições acadêmicas e governamentais. Sua versão gratuita para uso acadêmico, o *EViews Student Version Lite*, permite o acesso a recursos básicos de análise de séries temporais e regressão, sendo uma ferramenta acessível e eficiente no apoio ao ensino e à pesquisa (EViews, 2024).

A Tabela 1 apresenta a especificação do modelo para cada área analisada.

Tabela 1: Especificação do modelo estatístico para cada área de estudo.

| Áreas de estudo                | Especificação da equação (Modelo inicial)                                                   |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área 1/ Área Norte (A1/ AN)    | $\widehat{TAN} = b_1 + b_2 \cdot UAN + b_3 \cdot EPAN + b_4 \cdot PAN + b_5 \cdot VAN$      |
| Área 2/ Área Sudeste (A2/ ASE) | $\widehat{TASE} = b_1 + b_2 \cdot UASE + b_3 \cdot EPASE + b_4 \cdot PASE + b_5 \cdot VASE$ |
| Área 3/ Área Sul (A3/ AS)      | $\widehat{TAS} = b_1 + b_2 \cdot UAS + b_3 \cdot EPAS + b_4 \cdot PAS + b_5 \cdot VAS$      |
| A1, A2 e A3 unificadas         | $T = \beta_1 + \beta_2 \cdot U + \beta_3 \cdot EP + \beta_4 \cdot PT + U_i$                 |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os resultados obtidos por meio desse modelo em cada área de estudo, além do modelo unificado, são apresentados no Capítulo 3 – Resultados e Discussão.

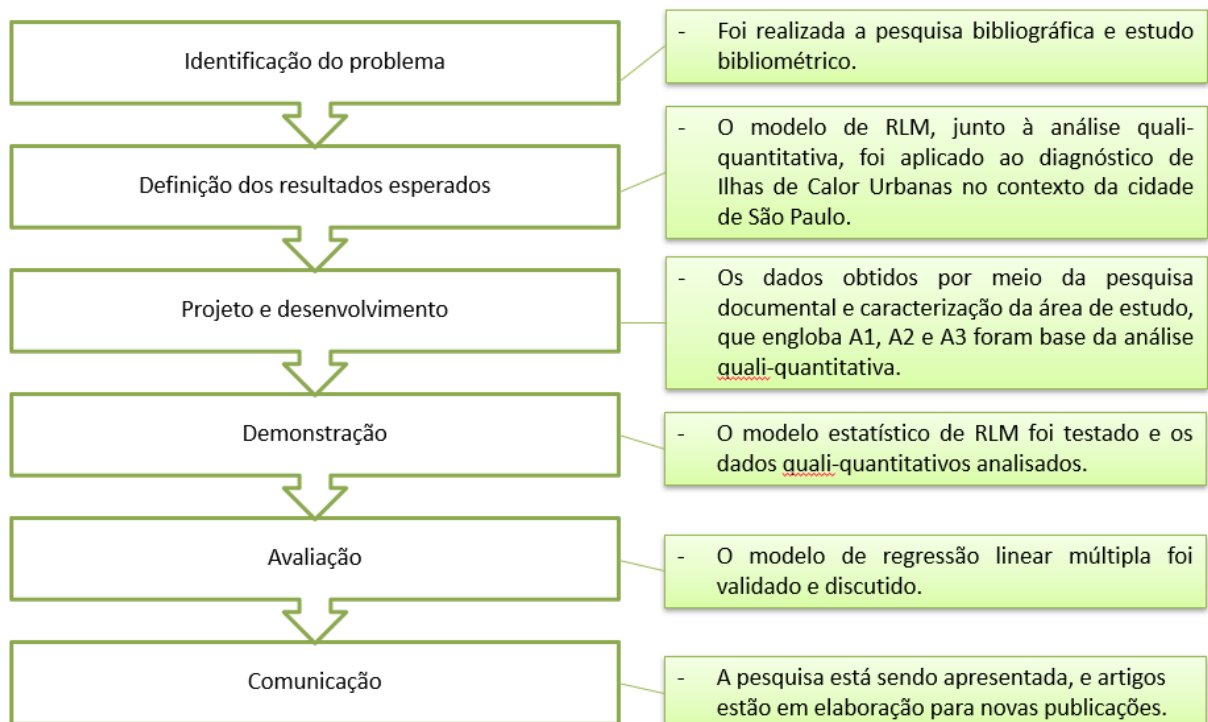
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme estabelecido na metodologia, esta é uma pesquisa é aplicada e segue uma abordagem quali-quantitativa, o que orienta a análise dos resultados apresentados na sequência.

#### 3.1 Eficácia da aplicação do método DSR

A aplicação do método DSR no presente estudo demonstrou-se eficaz para abordar o problema das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) na cidade de São Paulo. O método foi estruturado em seis etapas principais, abrangendo desde a identificação do problema até a comunicação dos resultados. Cada etapa foi adaptada às especificidades da pesquisa, garantindo uma abordagem sistemática e alinhada aos objetivos propostos, conforme a Figura 25.

Figura 25: Resultados da aplicação do método DSR.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Na fase de identificação do problema, foi realizada a pesquisa bibliográfica e o estudo bibliométrico para embasar teoricamente a investigação. Em seguida, na definição dos resultados esperados, foi estabelecido o uso do modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM) combinado à análise quali-quantitativa, aplicado ao diagnóstico das ICU. Durante a etapa de projeto e desenvolvimento, os dados coletados de fontes documentais foram utilizados para caracterizar as áreas de estudo (A1, A2 e A3).

Posteriormente, na fase de demonstração, o modelo RLM foi testado, e os dados foram analisados de forma detalhada. A avaliação resultou na validação e discussão do modelo aplicado, demonstrando sua adequação para analisar as condições térmicas urbanas. Por fim, a comunicação dos resultados está sendo realizada por meio da apresentação da pesquisa e da elaboração de artigos científicos para publicação.

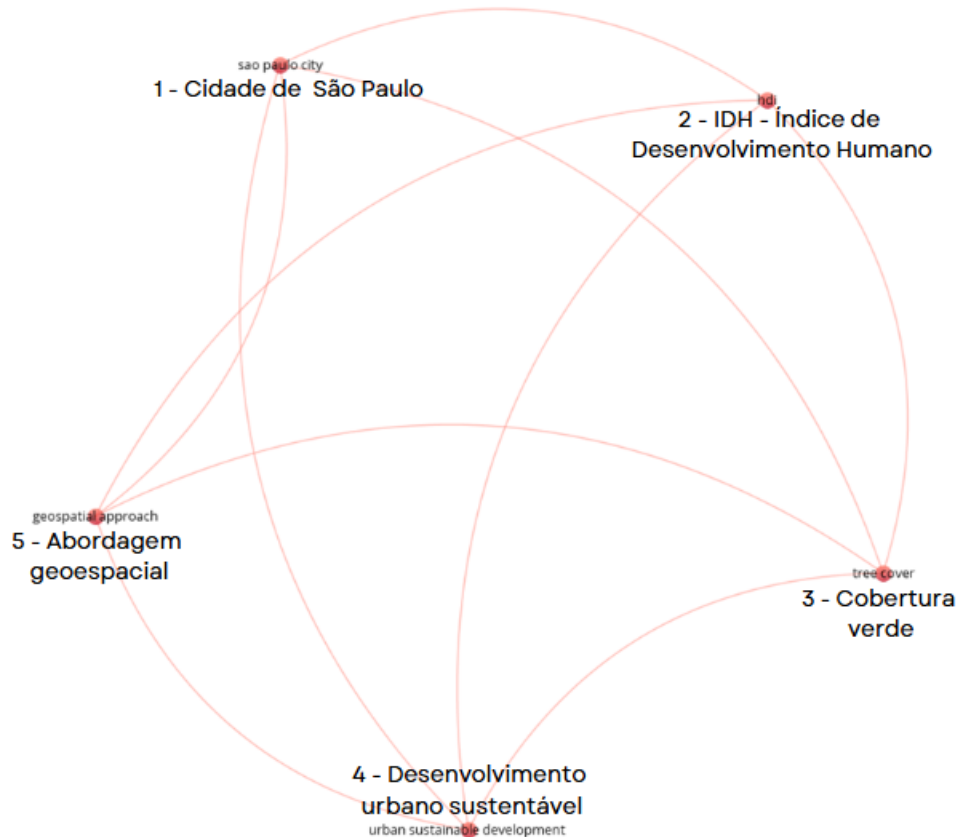
### **3.2 Análise de conteúdo (Estudo bibliométrico)**

Esta subseção apresenta a análise de conteúdo e discussão dos resultados obtidos no estudo bibliométrico, cuja elaboração foi descrita na Metodologia. Tal análise é essencial para identificação e caracterização do problema de pesquisa, além de enriquecer o campo teórico do tema abordado neste estudo.

Após a obtenção dos artigos científicos por meio do Portal de Periódicos da CAPES, os dados foram exportados para o software VOSViewer®, que viabilizou a realização de uma pré-análise por meio da geração de um mapa de coocorrência.

A Figura 26 apresenta o mapa de coocorrência resultante da busca na base de dados.

Figura 26: Mapa de coocorrência elaborado por meio do software VOSViewer®.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os *clusters* – agrupamentos de estudos que tratam de determinado assunto a partir de um ponto de vista, por meio de uma rede de citações provenientes de termos utilizados no título, palavras-chave ou resumo (Facin *et al.*, 2022) –, tratam dos seguintes temas: “*são paulo city*”, “*hdi*”, “*tree cover*”, “*urban sustainable development*” e “*geospatial approach*”.

Os *Clusters* (1) e (2), *são paulo city* (Cidade de São Paulo) e *hdi*<sup>12</sup> (Índice de Desenvolvimento Humano – IDH), referem-se ao entendimento das desigualdades regionais, cobertura arbórea e qualidade de vida na cidade.

O *Cluster* (3), *tree cover* (cobertura verde), reúne todos os estudos da amostra, pois aborda mitigação de ilhas de calor, sequestro de carbono e sustentabilidade urbana, conectando-se a índices ambientais e estratégias de planejamento.

O *Cluster* (4), *urban sustainable development* (desenvolvimento urbano sustentável), aplica-se à identificação de desigualdades ambientais, sociais e econômicas.

<sup>12</sup> Human Development Index (HDI)

O *Cluster (5)*, *geospatial approach* (abordagem geoespacial), permeia todos os estudos da amostra, pois abrange o uso de métodos, técnicas e ferramentas baseadas em dados geoespaciais para analisar, interpretar e resolver problemas relacionados ao espaço geográfico, como mudanças na cobertura do solo.

Tais *clusters* foram fundamentais para a pesquisa, pois ofereceram uma visão multidimensional sobre as ICU, abrangendo aspectos sociais, ambientais e técnicos.

Após os mapas de coocorrência, foram lidos os resumos dos artigos, de forma a selecionar os aderentes ao tema da pesquisa. O Quadro 7 apresenta essa análise.

Quadro 7: Referências selecionadas ou não a partir da leitura de resumo.

| <b>Título</b>                                                                                                                                                     | <b>Autor, Ano e Periódico</b>                                   | <b>Selecionado<br/>(Sim/ Não)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Influence of the surroundings areas in the microclimates of Santo André City – Brazil and Indication of Bioclimatic Strategies for Buildings</i>               | Sacht et al., 2019; E3S<br>Web of Conferences                   | Sim                               |
| <i>Multitemporal analysis of urban climate in the Palmas, Tocantins State - Brazil</i>                                                                            | Gomes, F., et al., 2020;<br>Colloquium Exactarum                | Sim                               |
| <i>Variation of the NDVI index and the temperature of the terrestrial surface in the urban network of the municipality of Paracatu - MG between 1985 and 2005</i> | Pereira dos Santos et al.,<br>2020; Colloquium<br>Exactarum     | Sim                               |
| <i>Spatial and temporal variability of surface temperature, land use and land cover change: a case study in Campinas, Brazil</i>                                  | Bezerra e Avila, 2021;<br>Revista Brasileira de<br>Climatologia | Sim                               |
| <i>Urban Sustainable Development Index: a geospatial approach to add Tree Cover to HDI in São Paulo City</i>                                                      | Olivatto e Lollo, 2022;<br>Sociedade & Natureza                 | Sim                               |
| <i>The impact of meteorological changes on the quality of life regarding thermal comfort in the Amazon region</i>                                                 | Santos, A. F., et al.,<br>2023; Frontiers in<br>Climate         | Sim                               |

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Conforme apresentado no Quadro 7, foram identificados e selecionados os seis artigos da amostragem, com base na leitura dos resumos. Os estudos abrangem o período de 2019 a 2023, e abordam tanto a análise das ICU, como ferramentas que podem ser implementadas para sua mitigação.

Sacht *et al.* (2019) investigaram os microclimas de Santo André, SP, com foco nos impactos da urbanização, incluindo a substituição de vegetação por superfícies impermeáveis e o aumento da poluição, na formação de ilhas de calor urbanas. Observou-se variações significativas de temperatura e umidade em função das características de cada área. O trabalho utilizou software específico para desenvolver estratégias bioclimáticas voltadas à construção sustentável, priorizando ventilação natural, sombreamento e uso de vegetação para reduzir a dependência de sistemas ativos de climatização e melhorar o conforto térmico. Tais estratégias visaram mitigar os impactos climáticos locais e promover intervenções urbanas e arquitetônicas mais sustentáveis.

Gomes, F., *et al.* (2020) realizaram um estudo na cidade de Palmas, Tocantins, com foco em ICU e sua relação com a vegetação e a disponibilidade hídrica. Os autores utilizaram recursos como imagens de satélite para demonstrar as áreas mais quentes, com maior temperatura de superfície (em inglês, *Land Surface Temperature*<sup>13</sup>) e áreas com maior índice de vegetação (em inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*<sup>14</sup>).

Nota-se que a urbanização sem infraestrutura adequada e a redução da vegetação agravam o problema das ICU, afetando a qualidade de vida e a saúde da população, tornando urgente a implementação de um planejamento urbano mais sustentável (Gomes, F., *et al.*, 2020).

Pereira dos Santos *et al.* (2020) realizaram uma análise semelhante em Paracatu, Minas Gerais, com o objetivo de investigar a relação entre a expansão urbana da cidade e as mudanças no NDVI e na temperatura da superfície terrestre (LST) entre 1985 e 2005. Foram coletadas imagens de satélite referentes aos anos de 1985, 1995 e 2005. Os resultados revelaram o aumento de mais de 2°C na temperatura, além da redução de vegetação, evidenciando o impacto do crescimento desordenado e da falta de planejamento urbano na formação de ilhas de calor.

Bezerra e Avila (2021) analisaram as mudanças no uso e cobertura do solo e na temperatura da superfície em Campinas, São Paulo, entre 1989 e 2016, período escolhido devido à disponibilidade de dados climáticos de três estações meteorológicas. A metodologia

---

<sup>13</sup> Sigla em inglês: LST.

<sup>14</sup> Sigla em inglês: NDVI.

combina dados meteorológicos e imagens térmicas, indicando o aumento de 23% na área urbanizada e aumento correspondente nas temperaturas do ar e da superfície. O estudo destacou como a urbanização intensifica problemas climáticos como as ilhas de calor, influenciando a qualidade ambiental.

Olivatto e Lollo (2022) propuseram um novo índice de sustentabilidade urbana, o Índice de Desenvolvimento Urbano Sustentável, que amplia o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) ao incorporar uma dimensão ambiental, a qual adiciona um indicador de cobertura arbórea. Tal dimensão considera fatores como sequestro de gases de efeito estufa, mitigação de ilhas de calor e preservação da flora e fauna locais. Com base no estudo de caso realizado na cidade de São Paulo, os autores enfatizaram a importância de considerar fatores ambientais no planejamento do desenvolvimento urbano, especialmente em cidades em crescimento.

O estudo de Santos, A. F., *et al.* (2023) investigou os impactos das mudanças meteorológicas no conforto térmico da região Amazônica, utilizando índices como o Índice de Desconforto Térmico e o Índice de Temperatura e Umidade. Com base em dados de 2003 a 2021, os resultados indicaram que, na maior parte do tempo, a sensação de desconforto térmico predominou, especialmente durante o inverno, quando as altas taxas de precipitação influenciam o clima local. A pesquisa também revelou que a urbanização e o desmatamento têm alterado o microclima da região, aumentando as temperaturas e intensificando o desconforto térmico, o que afeta a qualidade de vida, saúde e bem-estar da população.

Além disso, destaca-se que a análise dos índices de conforto térmico oferece uma compreensão importante para a elaboração de estratégias de adaptação às mudanças climáticas e de promoção de ambientes urbanos mais resilientes (Santos, A. F., *et al.*, 2023).

Diante do exposto, evidencia-se que o planejamento urbano da cidade de São Paulo necessita adotar uma abordagem integrada que considere as ICU e suas consequências. Por isso, o presente estudo não só visa contribuir para a compreensão das ICU no município, mas também fornecer dados relevantes que informem políticas públicas e intervenções urbanas.

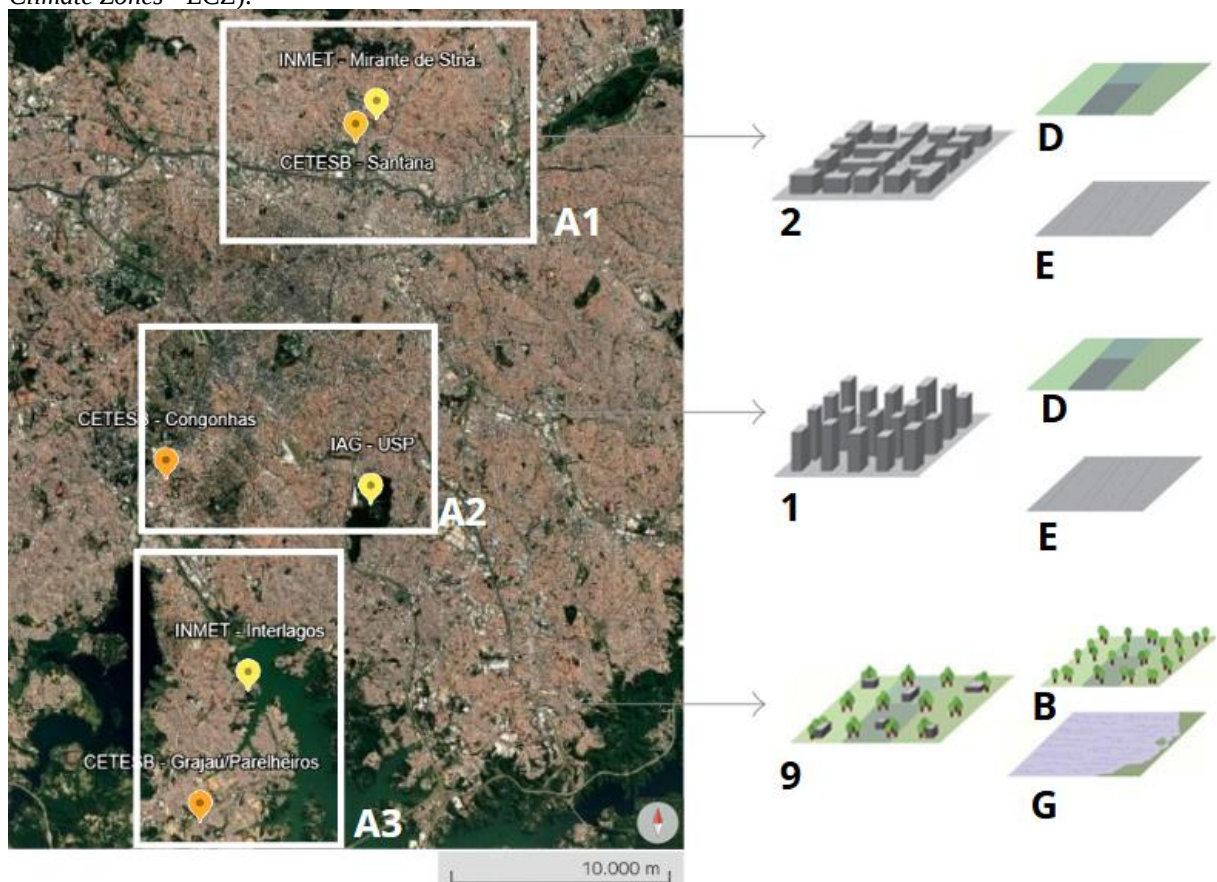
Com uma modelagem de regressão linear múltipla junto a uma análise combinada, elucidaram-se as complexas relações entre os fatores que influenciaram as temperaturas urbanas entre 2019 e 2023. Tais dados tem o potencial de oferecer subsídios para embasar ações concretas, e contribuir para a construção de uma cidade mais resiliente e adaptada às demandas climáticas e sociais do futuro.

### 3.3 Análise quali-quantitativa

#### 3.3.1 Caracterização da área de estudo (A1, A2 e A3) com base em LCZ

A análise combinada do presente estudo inicia-se a partir da caracterização das áreas de estudo denominadas A1, A2 e A3, localizadas em três regiões distintas do município de São Paulo. Tal caracterização baseia-se em Stewart e Oke (2012), como apresenta a Figura 27.

Figura 27: Caracterização das três áreas de estudo com base no conceito de Zonas Climáticas Locais (*Local Climate Zones - LCZ*).



Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base em Stewart e Oke (2012).

Conforme apresentado na Figura 27, a Área 1 caracteriza-se pela predominância de construções compactas de média altura (2), e cobertura do solo predominantemente pavimentado (E) e com plantas baixas (D), sendo sua classificação considerada LCZ 2DE. A cobertura de solo na Área 2 é semelhante, com vasta área pavimentada e pouca área verde ou permeável, sendo o tipo de construção predominante compacto de alta altura (1), cuja classificação considerou-se como LCZ 1DE. Tais informações poderão ser corroboradas a partir dos mapas de NDVI (cobertura do solo), na subseção “3.3.3”.

A Área 3 contrasta com as demais, pois seu tipo de construção predominante é disperso, com prédios de pequeno a médio porte e abundância de solo permeável (9), sendo a cobertura de solo arborizada (B) e com presença de grandes áreas de água aberta (G), devido aos reservatórios da região. Tais características também se confirmam por meio dos mapas de NDVI. Logo, A3 classifica-se como LCZ 9 BG.

Assim sendo, é notório que os diferentes tipos de ocupação e uso do solo impactam diretamente no microclima urbano. A Área 1, com construções compactas de média altura e baixa presença de vegetação, tende a gerar maior retenção de calor, contribuindo para o fenômeno de ilhas de calor urbanas (ICU). A Área 2, com edificações mais altas e densas, intensifica ainda mais esse efeito, devido à menor ventilação e maior concentração de superfícies impermeáveis (Bezerra; Avila, 2020).

Por outro lado, a Área 3, com características predominantemente naturais, como solo permeável, arborização significativa e corpos d'água, apresenta condições que favorecem a mitigação das ICU, promovendo maior resfriamento local e contribuindo para um equilíbrio térmico (Santos, A. F., *et al.*, 2023).

Essas características confirmam-se a partir da análise dos dados meteorológicos, ambientais e de saúde, apresentados na subseção seguinte.

A presente caracterização demonstra a heterogeneidade do município de São Paulo, além de reforçar a importância de estratégias de planejamento urbano que considerem a integração de áreas verdes e a distribuição equilibrada de infraestrutura, de modo a minimizar os impactos ambientais negativos, especialmente a ocorrência de ICU.

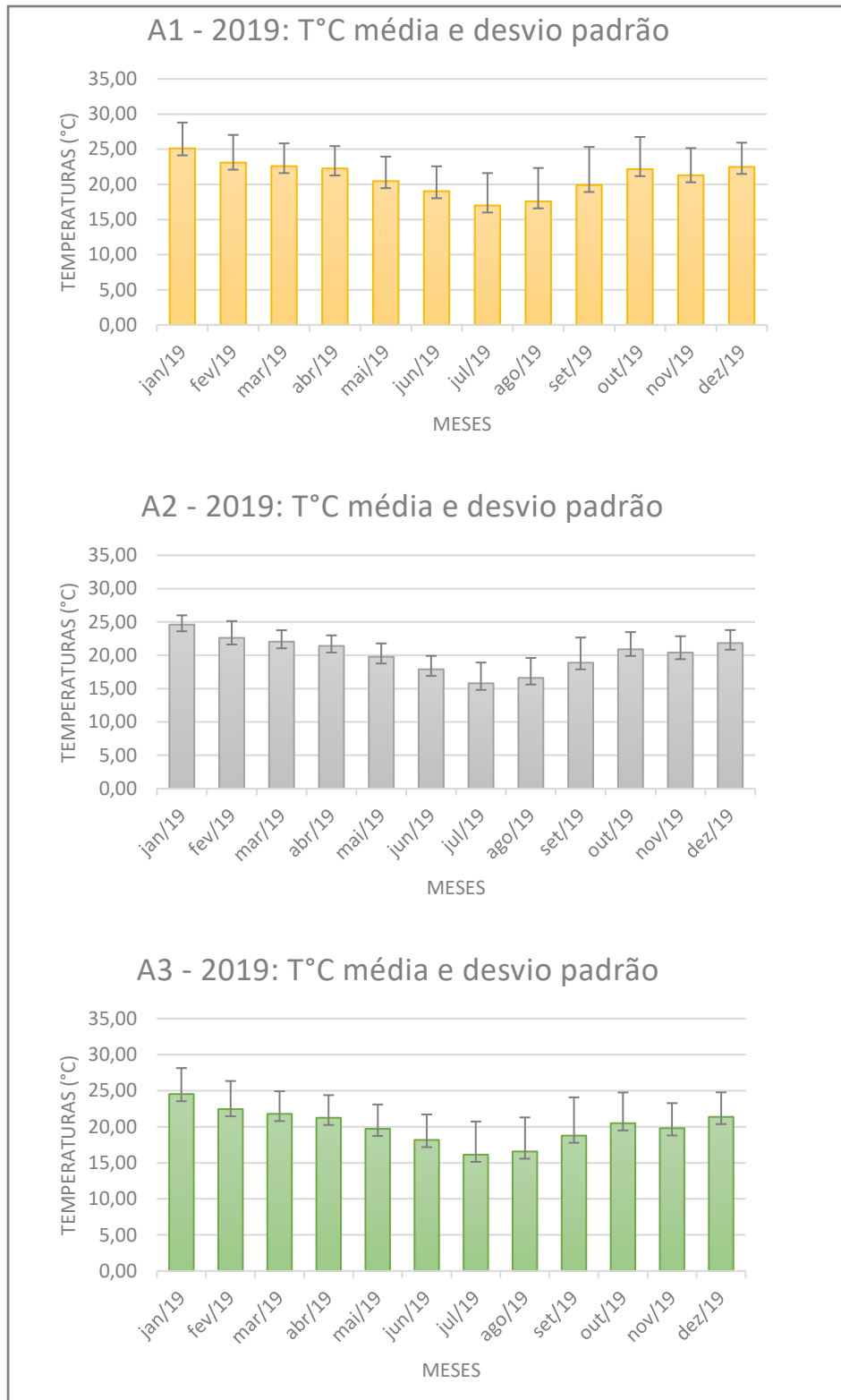
### *3.3.2 Análise dos dados meteorológicos, ambientais e de saúde – A1, A2 e A3*

A partir da coleta de dados obtidos por meio dos órgãos responsáveis, apresentam-se, a seguir, as análises estatísticas de A1, A2 e A3, referentes às variáveis meteorológicas, ambientais e de saúde.

As Figuras 28 a 32 exibem a variação da temperatura média mensal e o desvio padrão no período de 2019 a 2023. Os dados revelaram que a maior temperatura média mensal foi registrada em A1, com 25,11°C, e desvio padrão de  $\pm 3,68$  em janeiro de 2019, enquanto os

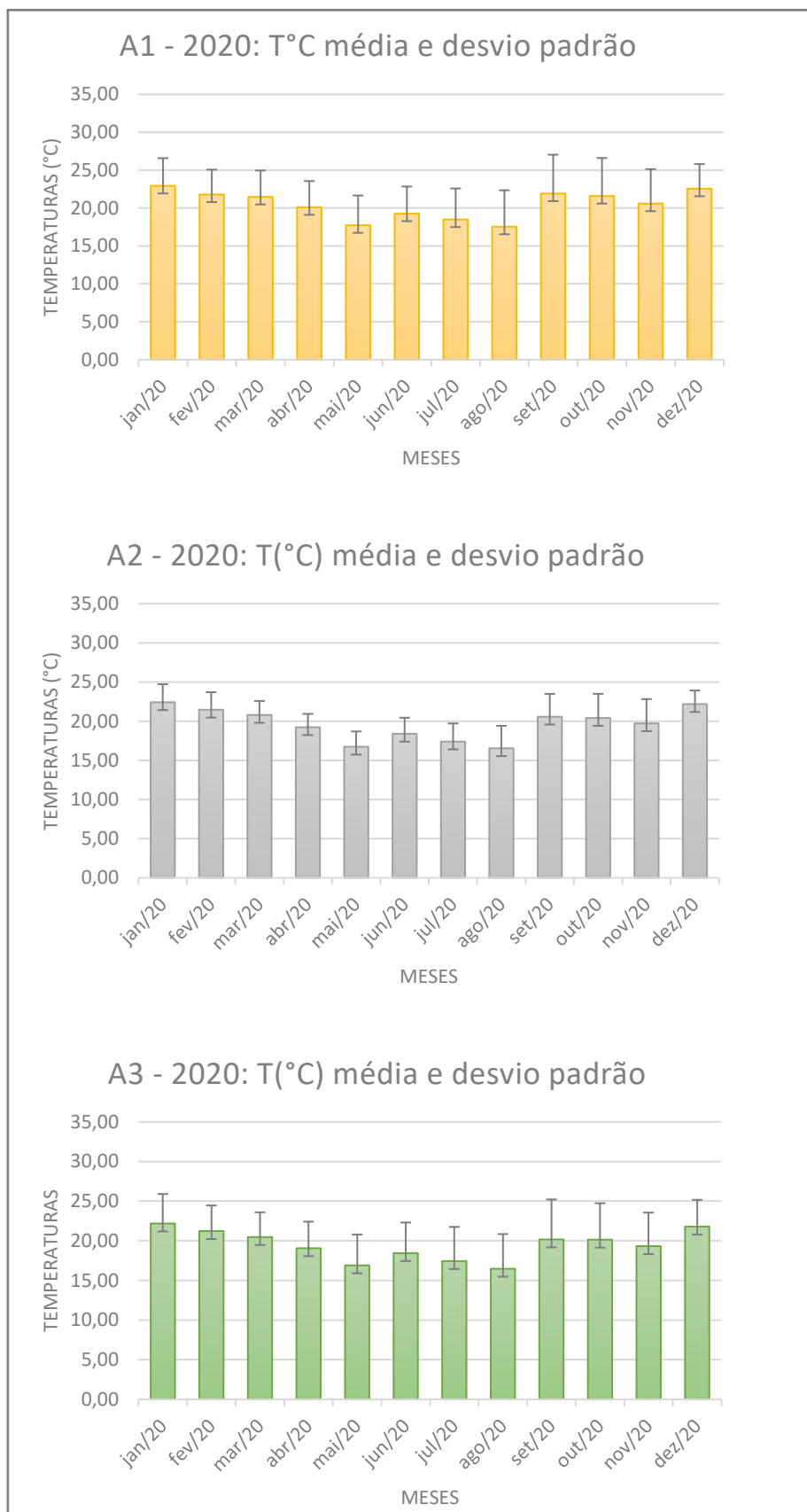
valores intermediários e mais baixos foram observados em A2 e A3, sendo o menor de 14,42°C, e desvio padrão de  $\pm 2,84$  em A2, em julho de 2021.

Figura 28: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2019: A1, A2 e A3.



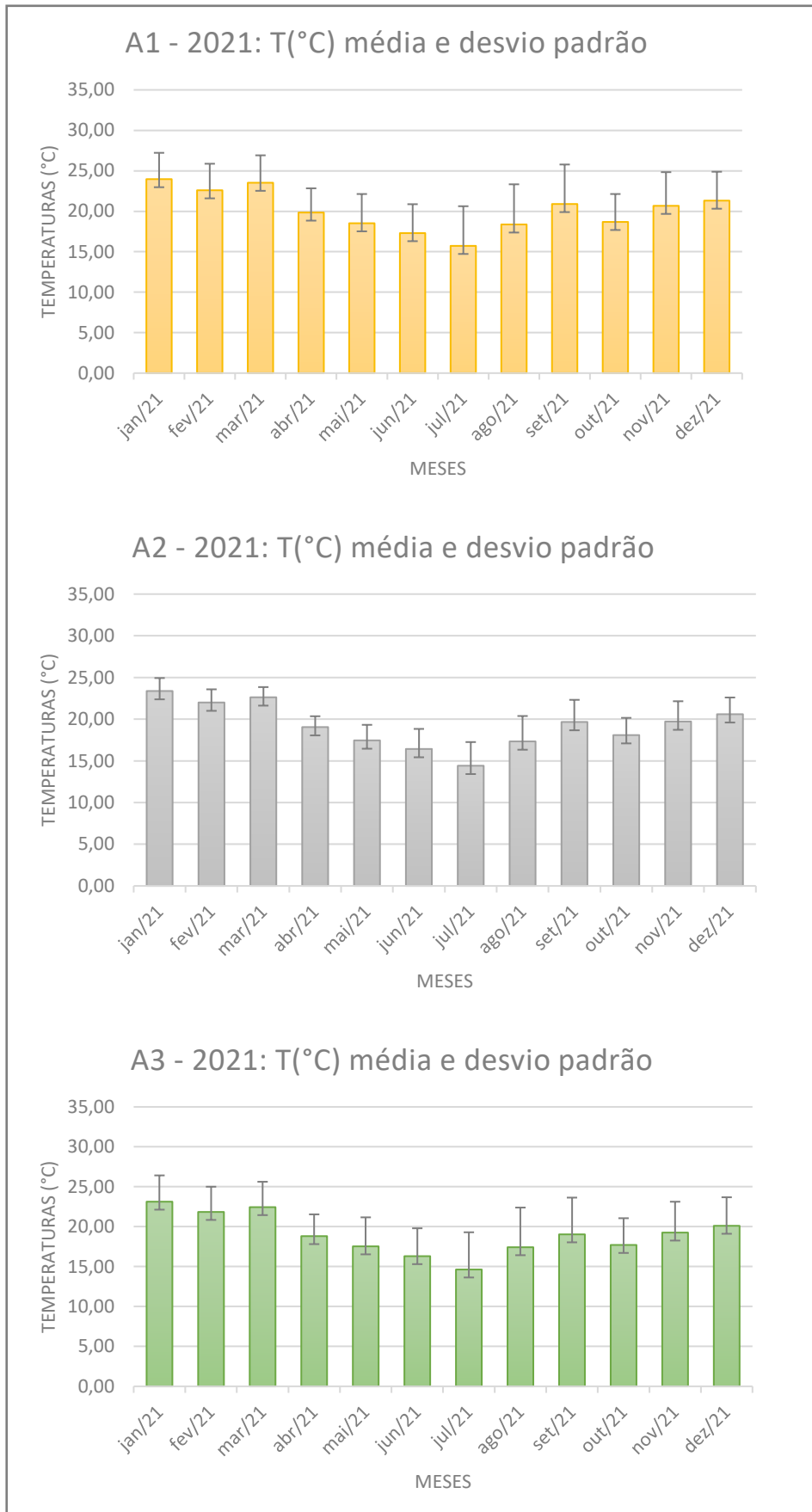
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 29: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2020: A1, A2 e A3.



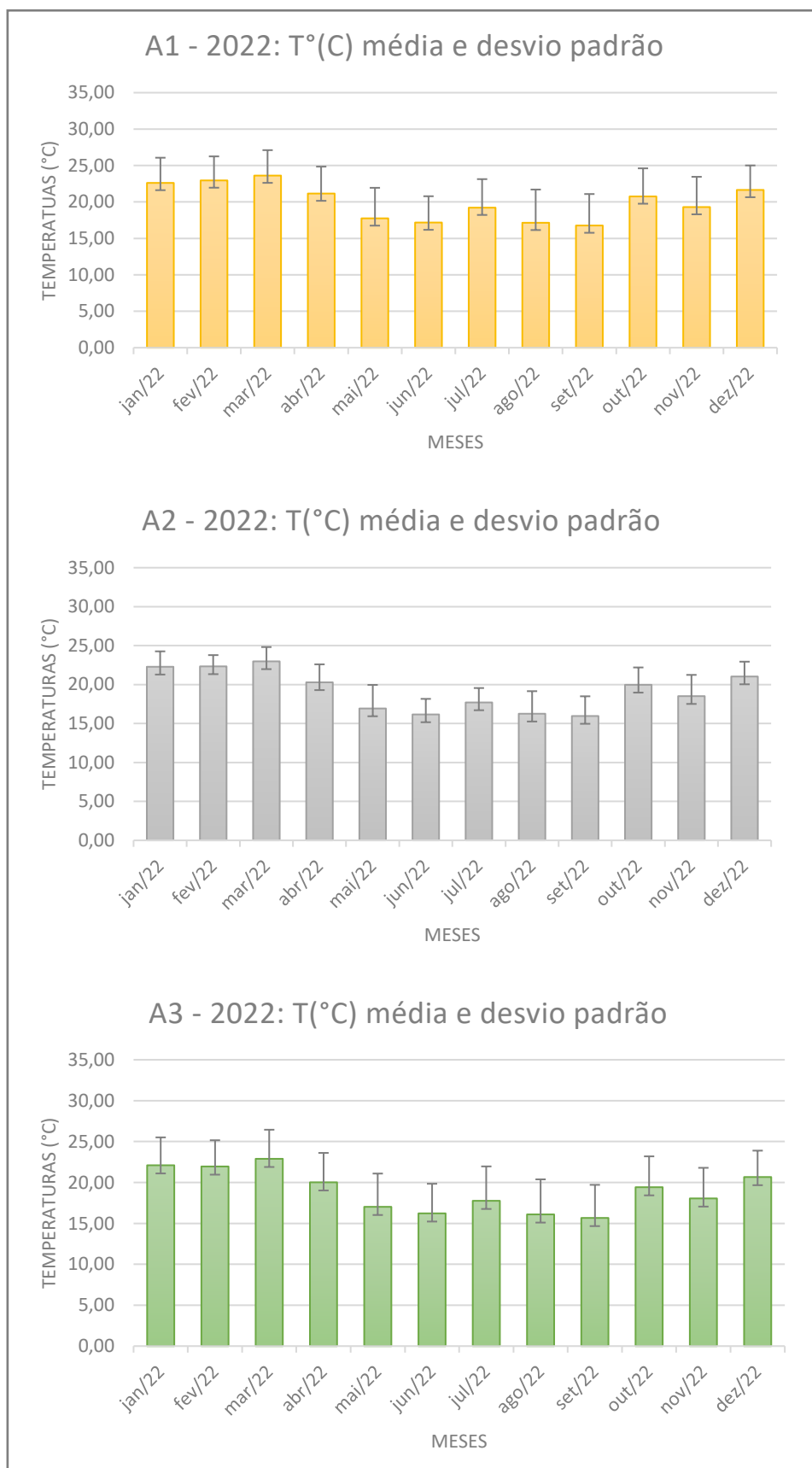
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 30: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2021: A1, A2 e A3.



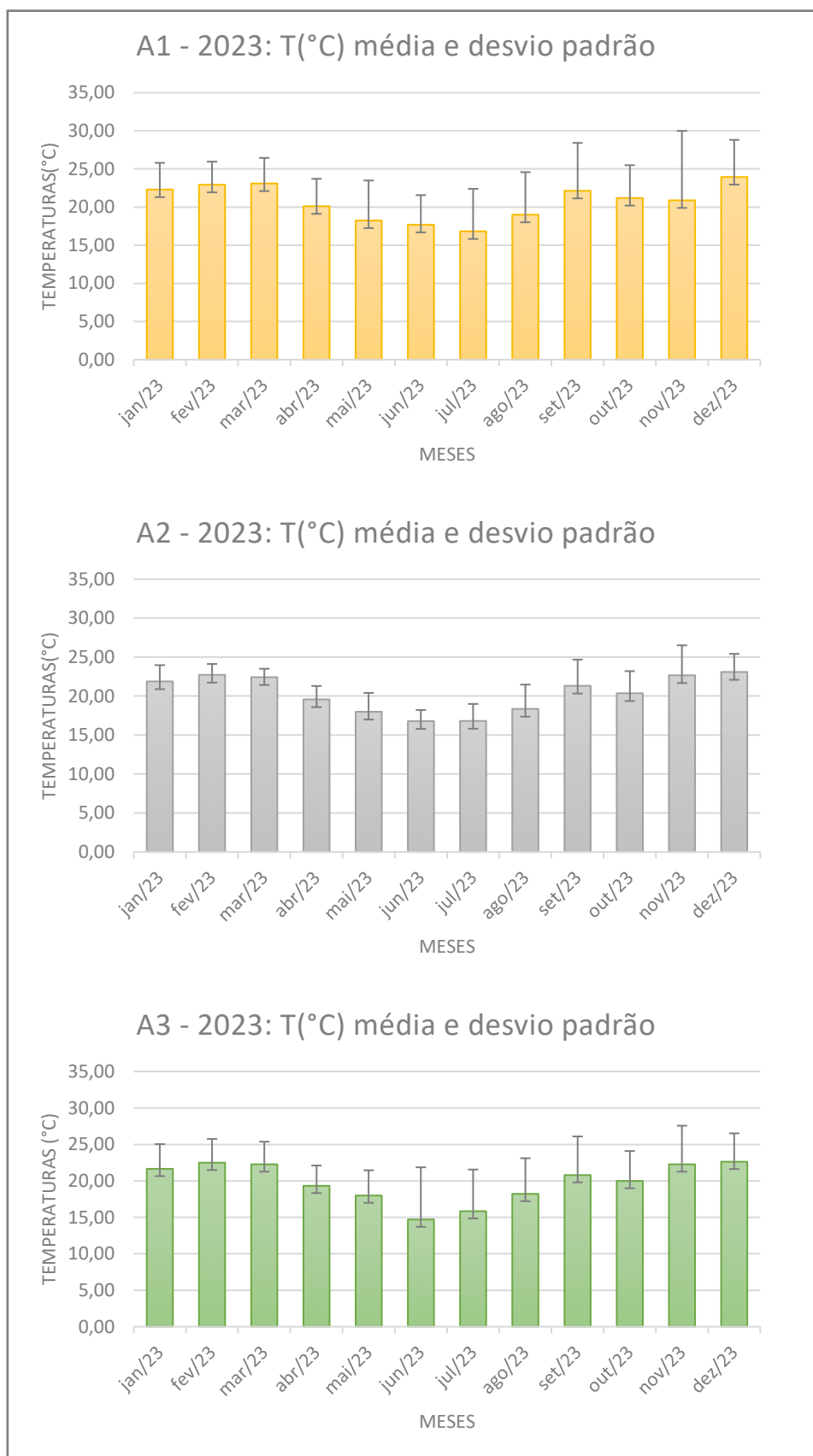
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 31: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2022: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 32: Temperatura média mensal e desvio padrão - 2023: A1, A2 e A3.

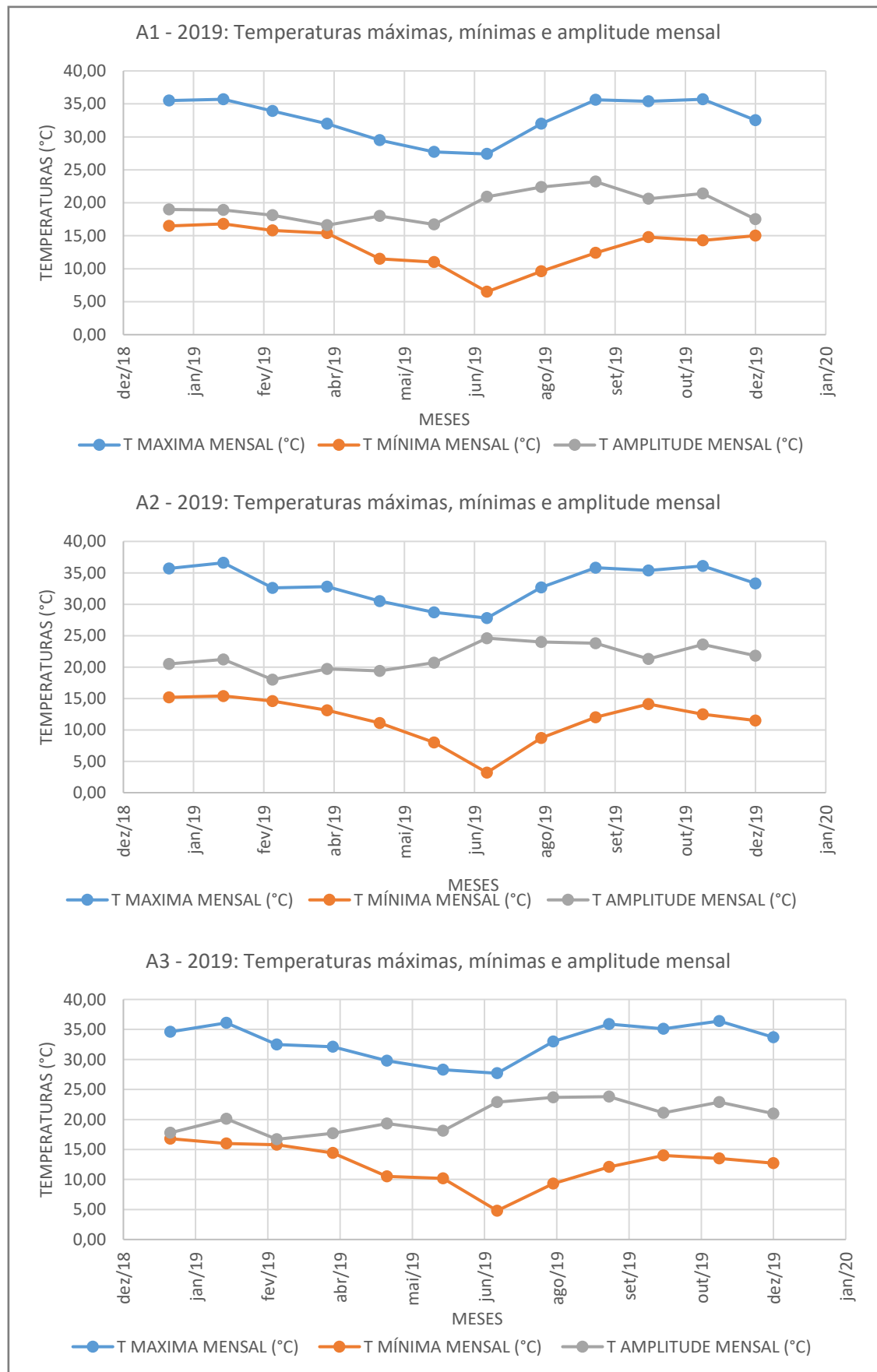


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

É importante destacar que o desvio padrão demonstrou-se mais alto em A1, em todos os anos da amostra, indicando maior variabilidade ou dispersão nos dados. Esse resultado sugere que as condições climáticas em A1 apresentaram maior instabilidade ao longo do tempo, o que pode estar relacionado a fatores como características de urbanização, maior densidade de edificações ou variações nos padrões de uso do solo. A maior variabilidade pode também refletir a interação entre diferentes elementos climáticos, como a baixa presença de vegetação, que reduz a capacidade de regulação térmica, e a predominância de superfícies impermeáveis, que intensificam as oscilações de temperatura (Oke, 2002).

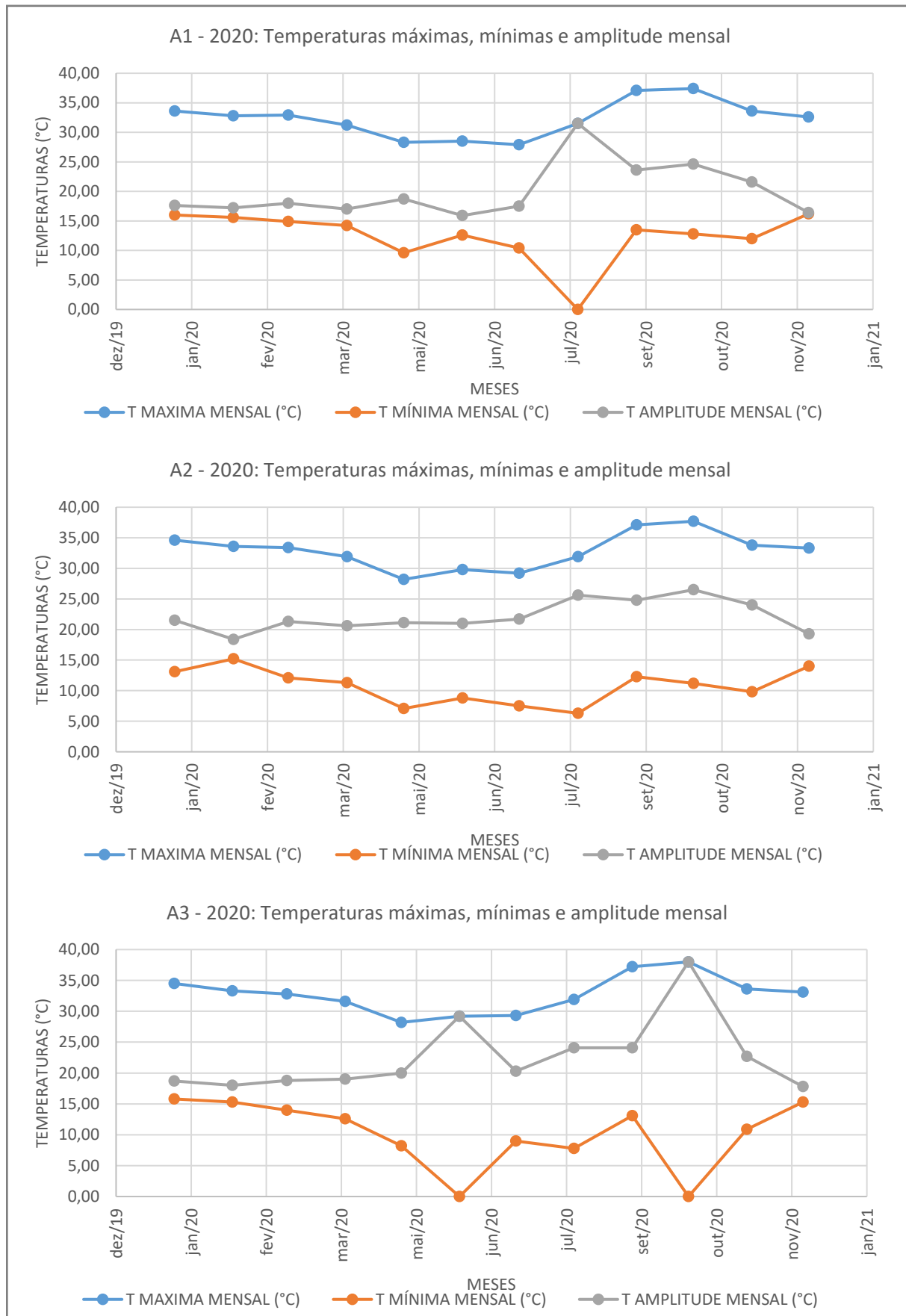
Da Figura 33 à 37 apresentam-se as temperaturas máximas e mínimas mensais, assim como as amplitudes térmicas registradas no período analisado em A1, A2 e A3. As temperaturas máximas mostraram-se similares entre as três áreas, com o maior valor registrado em A3, em novembro de 2023. Em contrapartida, as temperaturas mínimas exibiram variações significativas ao longo do período, enquanto as amplitudes térmicas demonstraram tendência de aumento ao longo do tempo nas três áreas de estudo.

Figura 33: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2019: A1, A2 e A3.



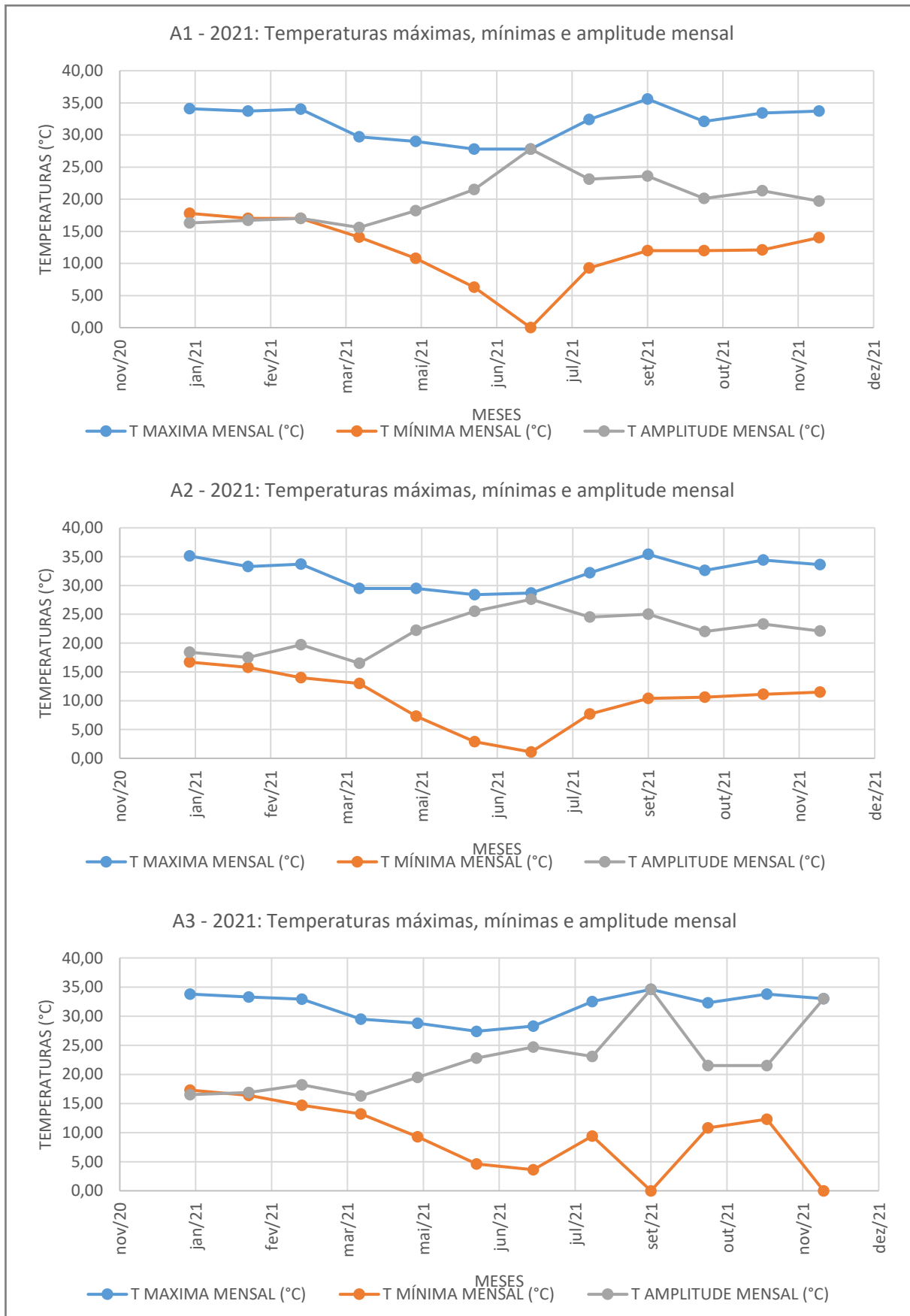
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 34: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2020: A1, A2 e A3.



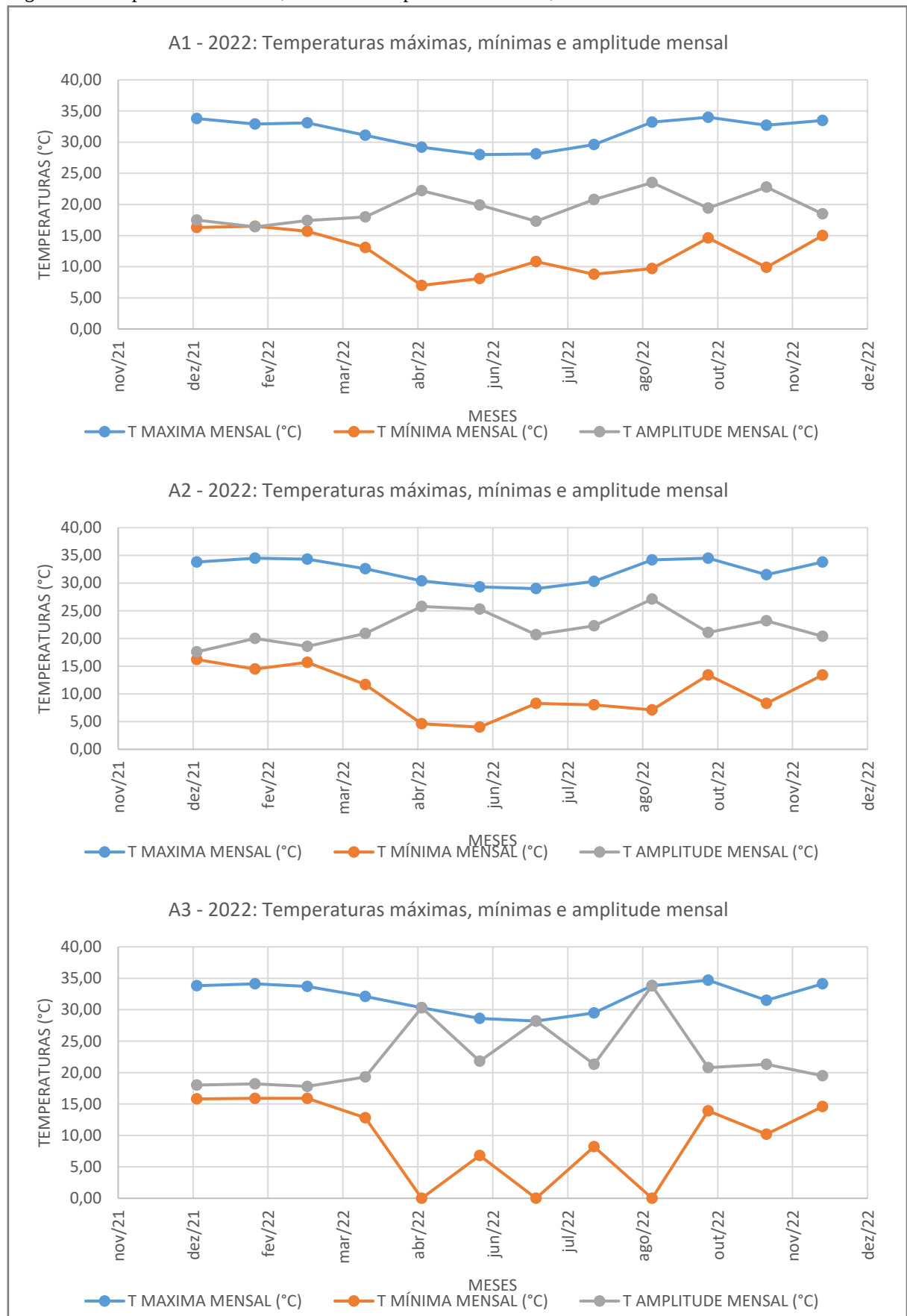
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 35: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2021: A1, A2 e A3.



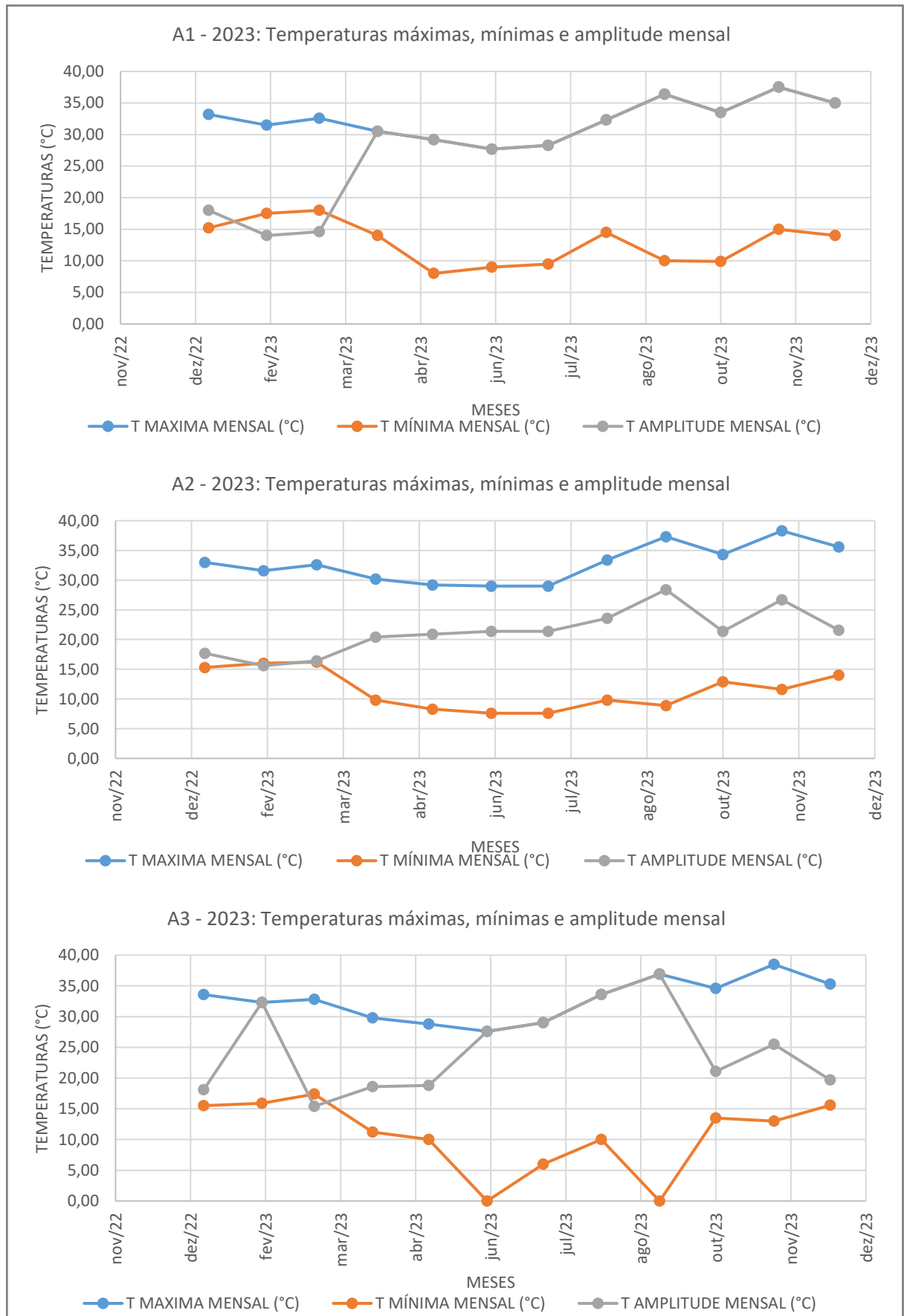
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 36: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2022: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 37: Temperaturas máximas, mínimas e amplitude - 2023: A1, A2 e A3.



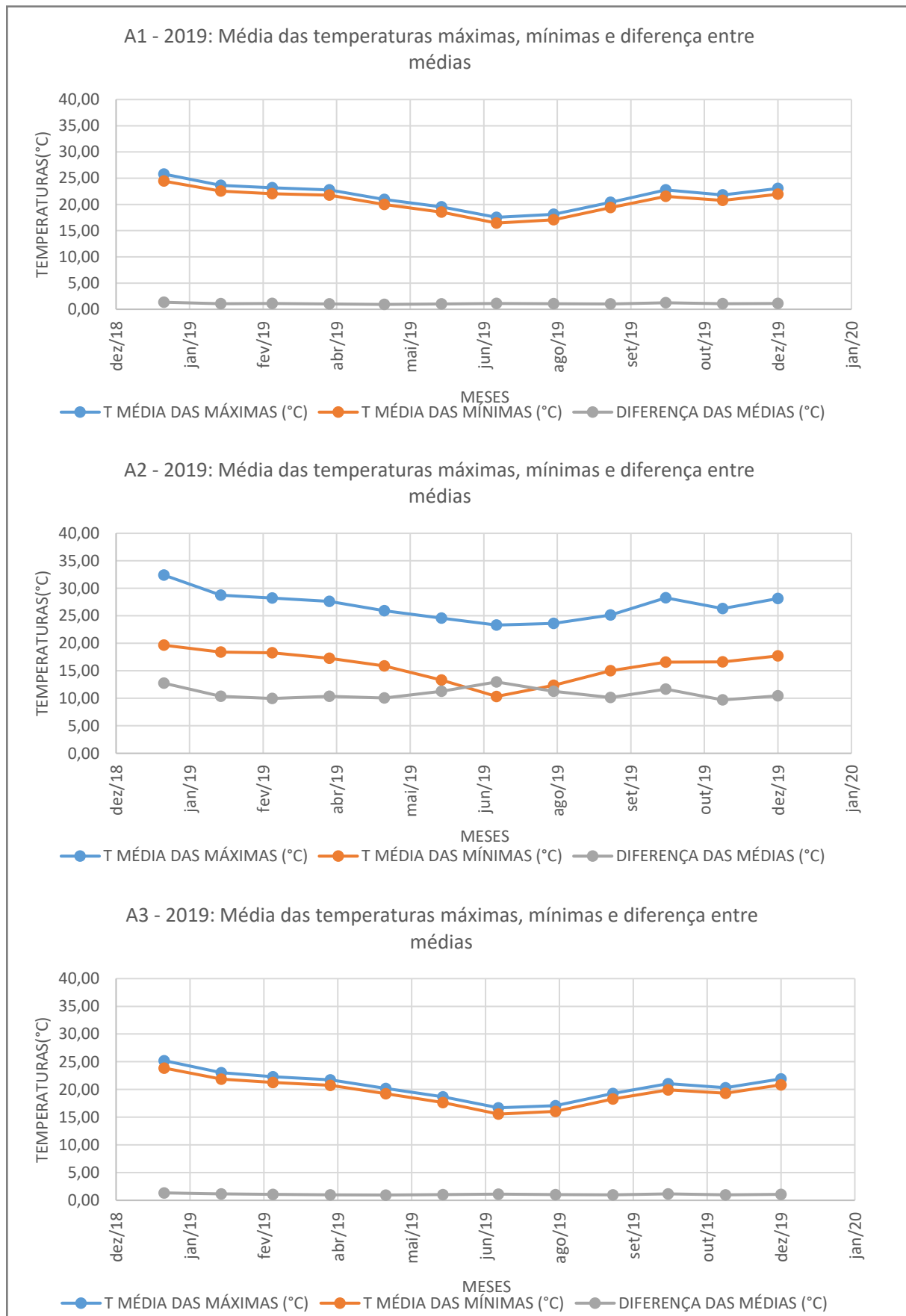
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Apresentam-se, da Figura 38 à 42, os gráficos relativos às médias das temperaturas máximas, mínimas e a diferença entre as médias nas três áreas de estudo. Destaca-se a elevação da temperatura na Área 1, que registrou o maior valor médio em janeiro de 2019, com 32,41°C, evidenciando o impacto das características urbanas locais, como a alta densidade de edificações e a predominância de superfícies impermeáveis, fatores que potencializam o efeito das ICU (Oke, 2002).

A menor média das temperaturas máximas, por sua vez, foi observada na Área 3, com 15,16°C, em junho de 2023, refletindo a influência positiva de fatores como maior presença de vegetação, áreas permeáveis e corpos d'água, que contribuem para a regulação térmica e mitigam as variações extremas de temperatura (Santos, A. F., *et al.*, 2023).

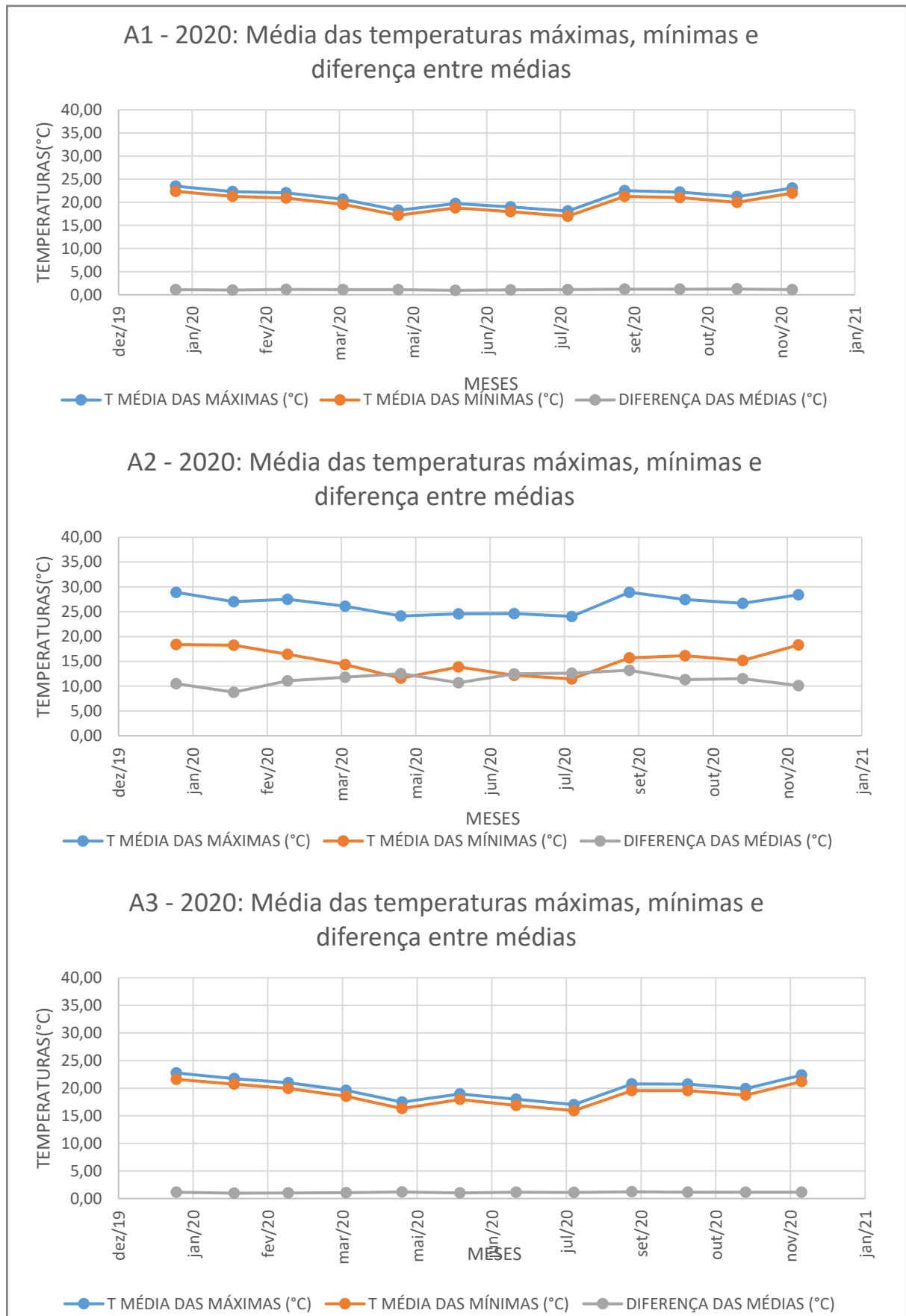
Além disso, observou-se uma maior diferença entre as médias na Área 2, em todos os anos analisados, enquanto o oposto ocorreu em A1 e A3, o que indica maior variação das médias de temperatura em A2.

Figura 38: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2019: A1, A2, A3.



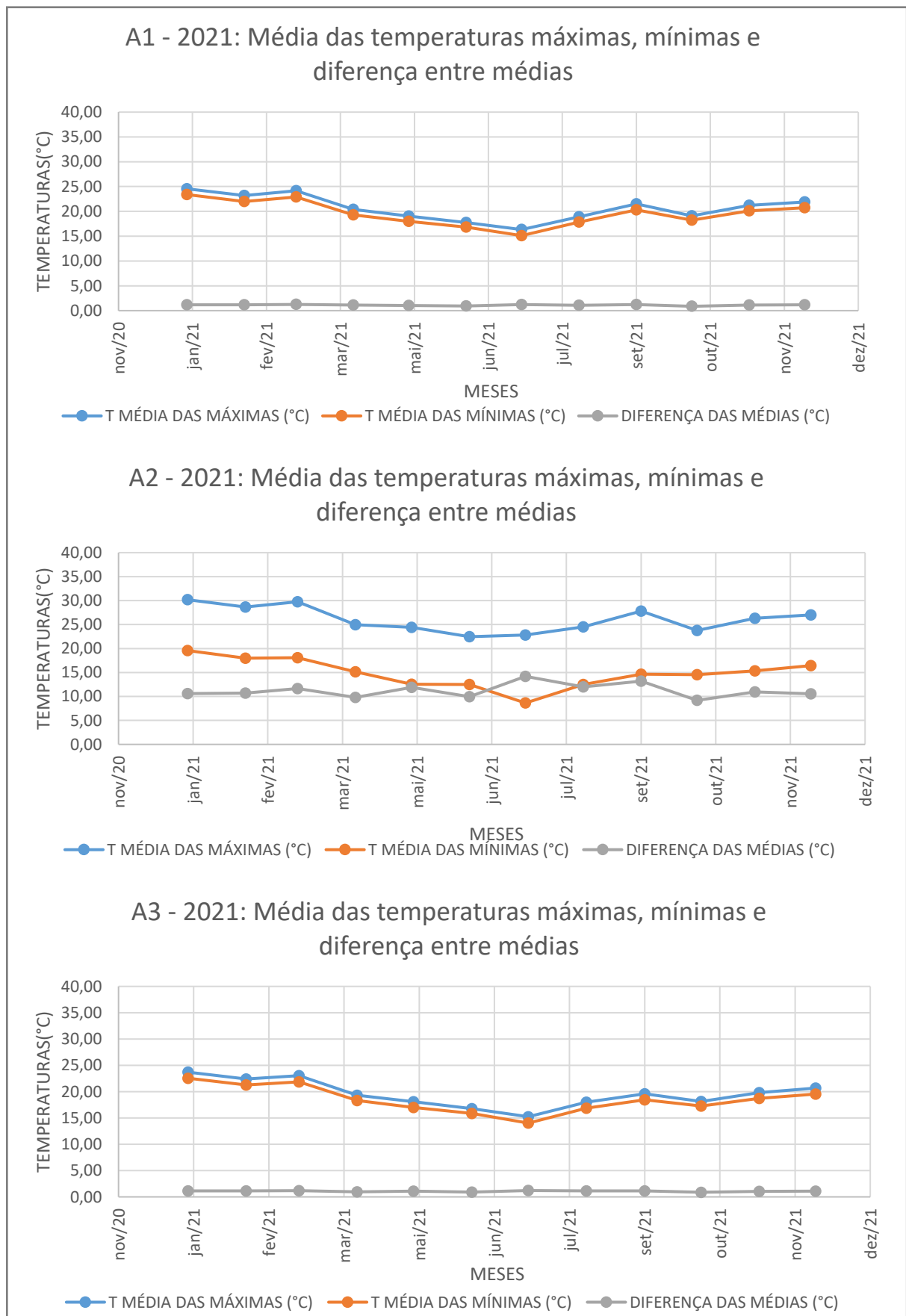
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 39: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2020: A1, A2, A3.



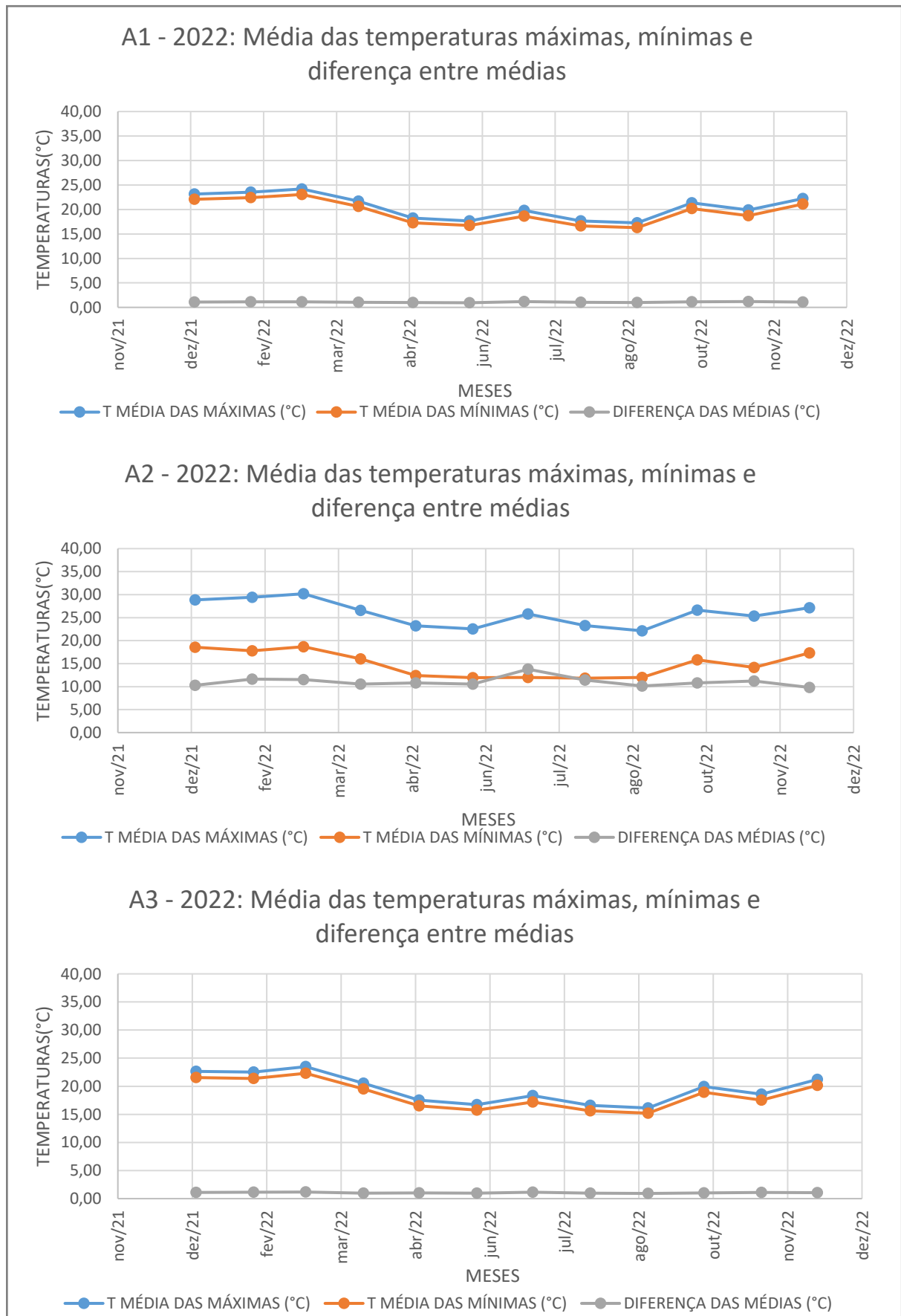
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 40: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2021: A1, A2, A3.



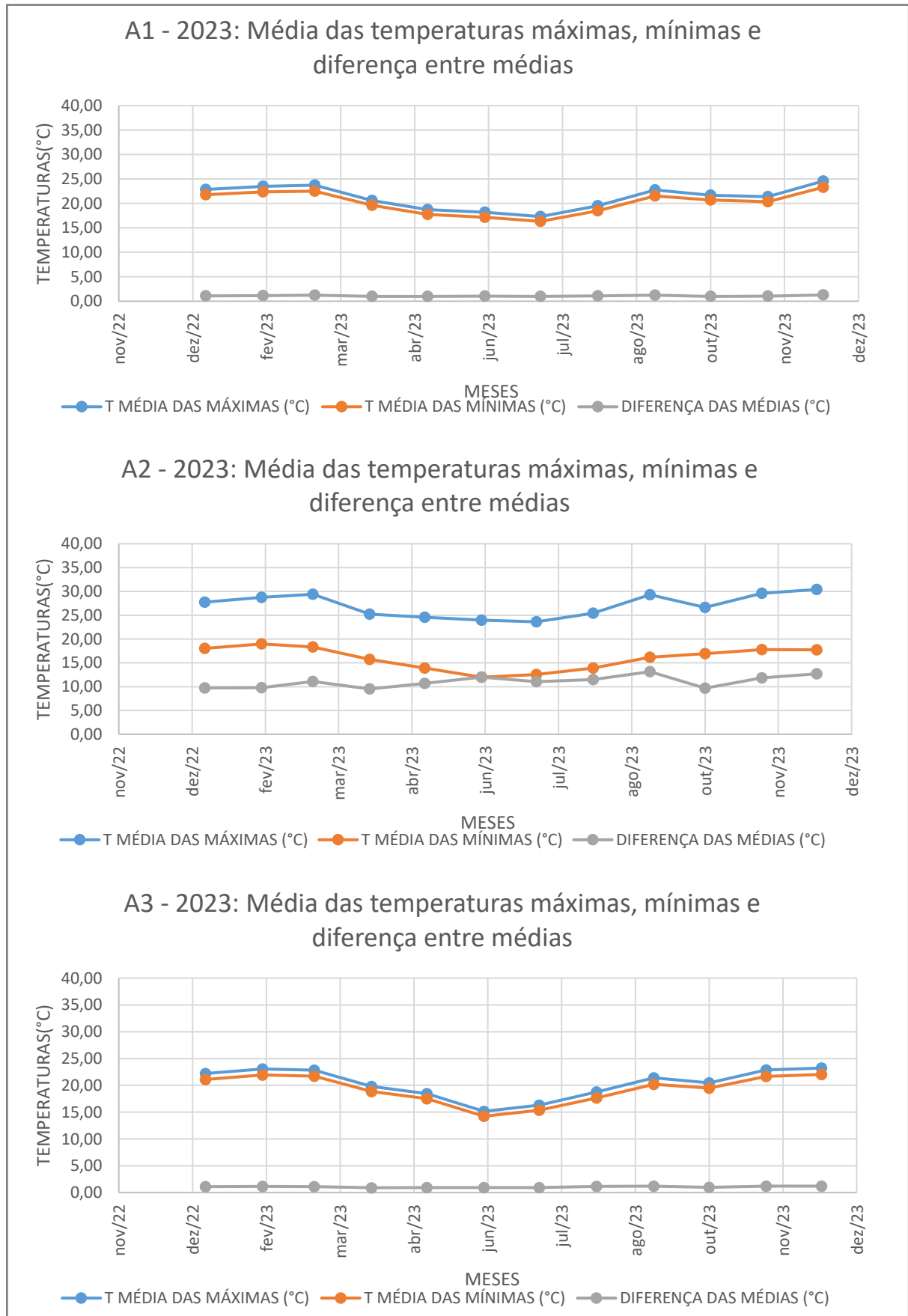
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 41: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2022: A1, A2, A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 42: Média das temperaturas máximas, médias e diferença entre médias - 2023: A1, A2, A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os gráficos representados da Figura 43 à 57 ilustram os dados referentes à umidade relativa do ar em A1, A2 e A3.

Observou-se que a umidade relativa média mensal foi consistentemente mais baixa em A1 ao longo de todos os anos analisados. Entretanto, A3 apresentou valores de desvio padrão muito acentuados dentro desse período, o que indica maior variabilidade dos dados nessa área.

Os gráficos de umidade relativa máxima, mínima e amplitude mensal apresentam um comportamento semelhante entre as três áreas.

A média das máximas, mínimas e a diferença entre médias de umidade relativa do ar foram semelhantes em A1 e A3 ao longo do período estudado. Já A2, embora tenha apresentado umidade relativa máxima mais elevada do que as demais áreas, também exibiu uma maior amplitude, evidenciando uma variabilidade mais pronunciada.

Figura 43: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2019: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 44: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2020: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 45: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2021: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 46: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2022: A1, A2 e A3.



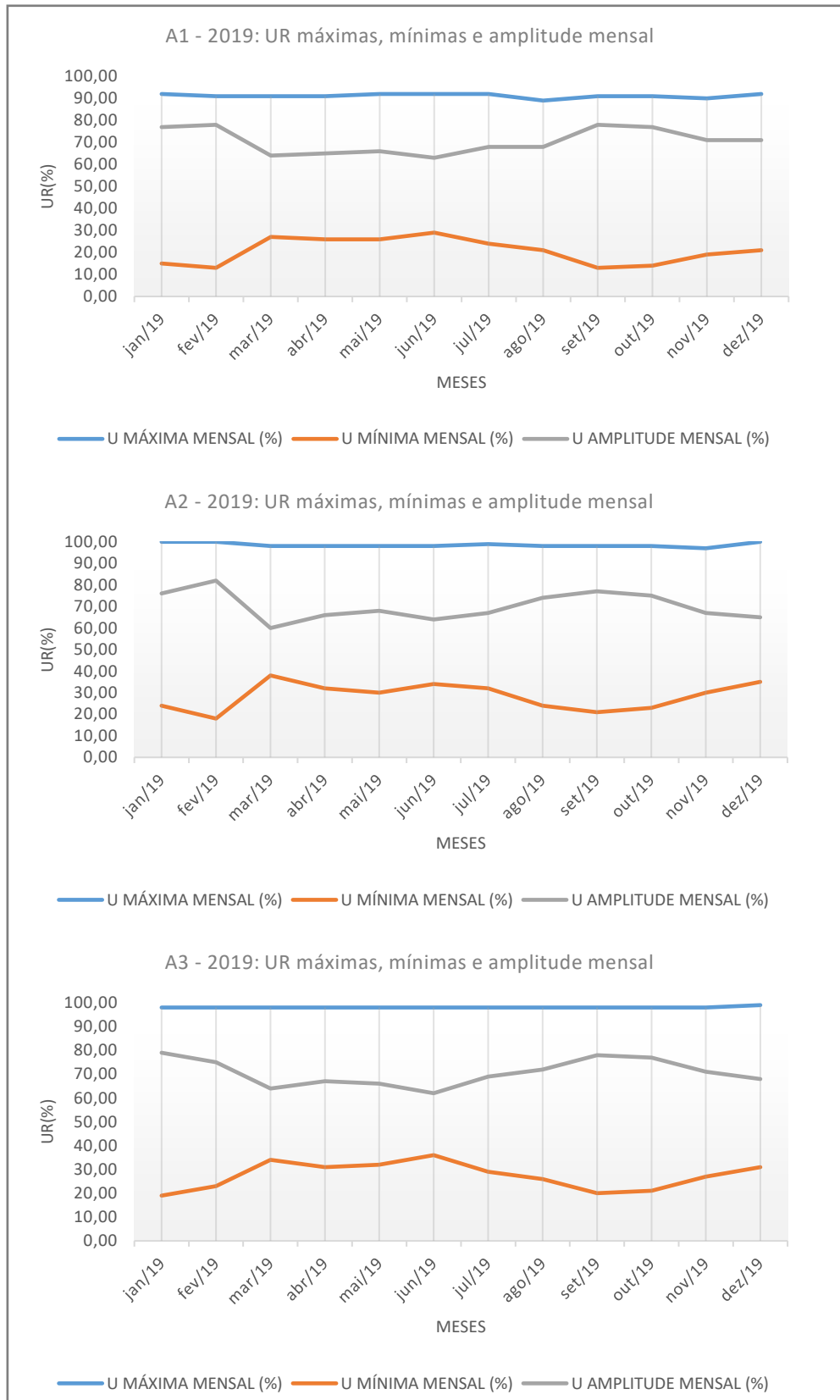
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 47: Umidade relativa do ar média e desvio padrão - 2023: A1, A2 e A3.



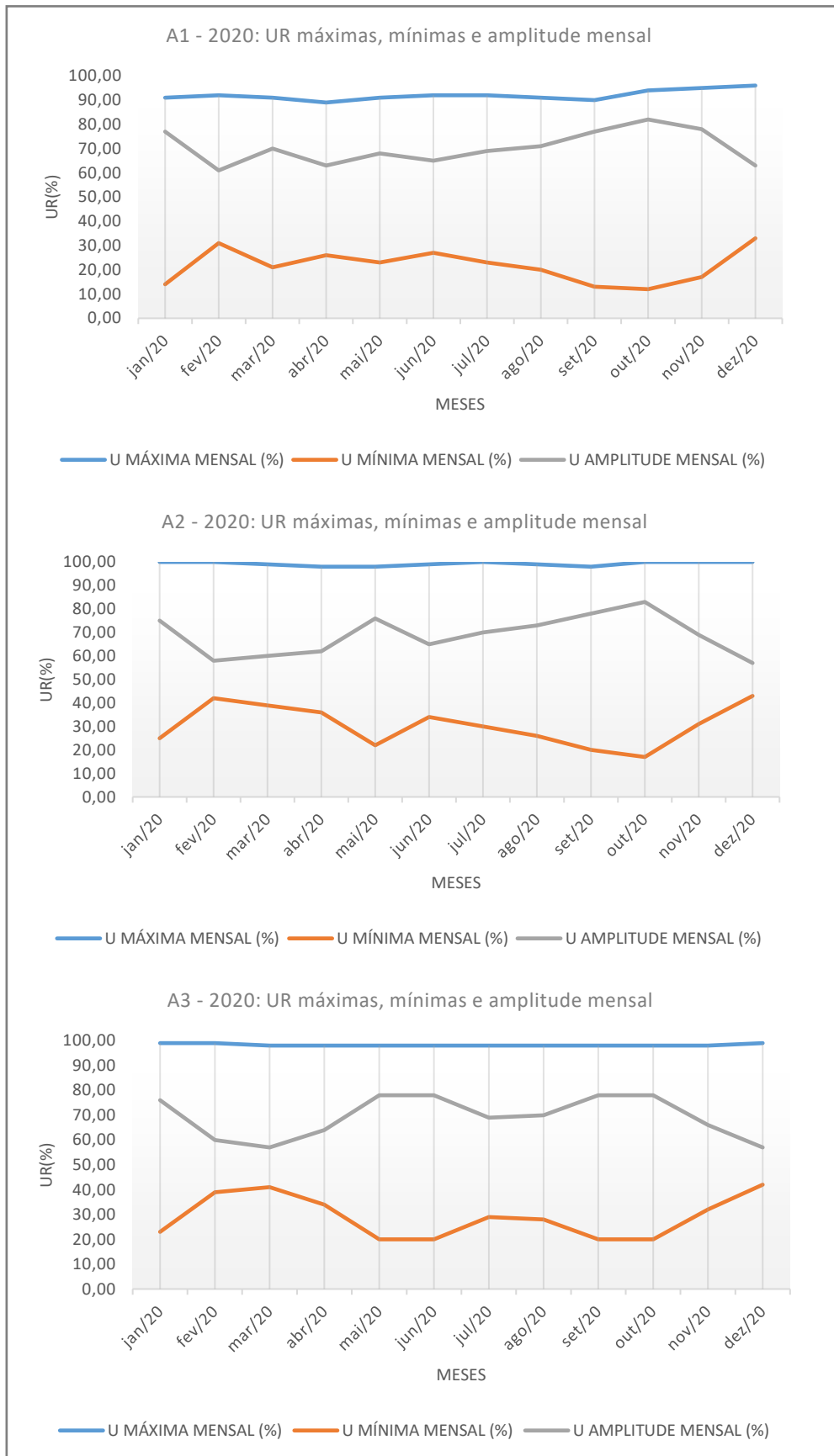
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 48: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2019: A1, A2 e A3.



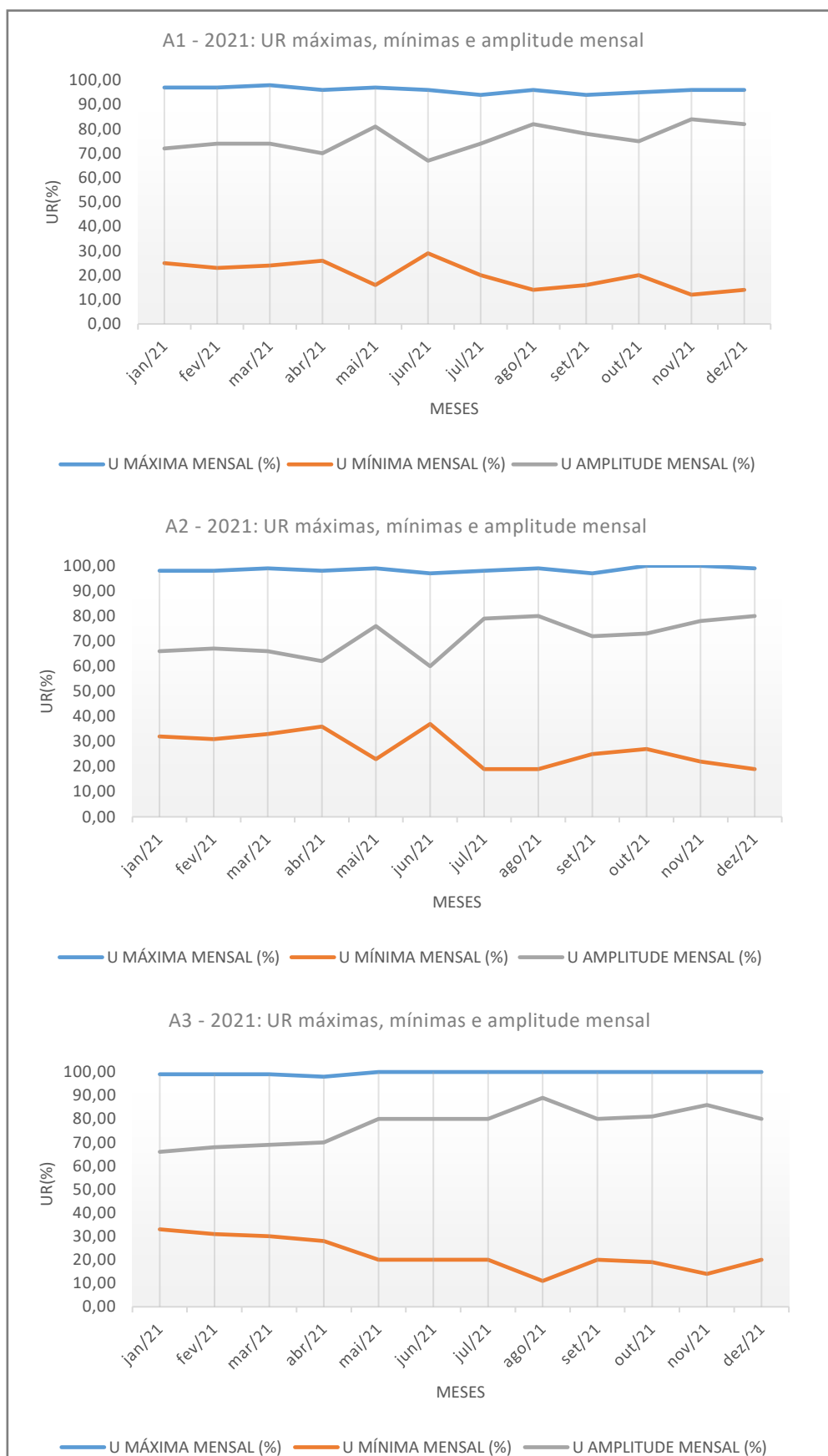
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 49: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2020: A1, A2 e A3.



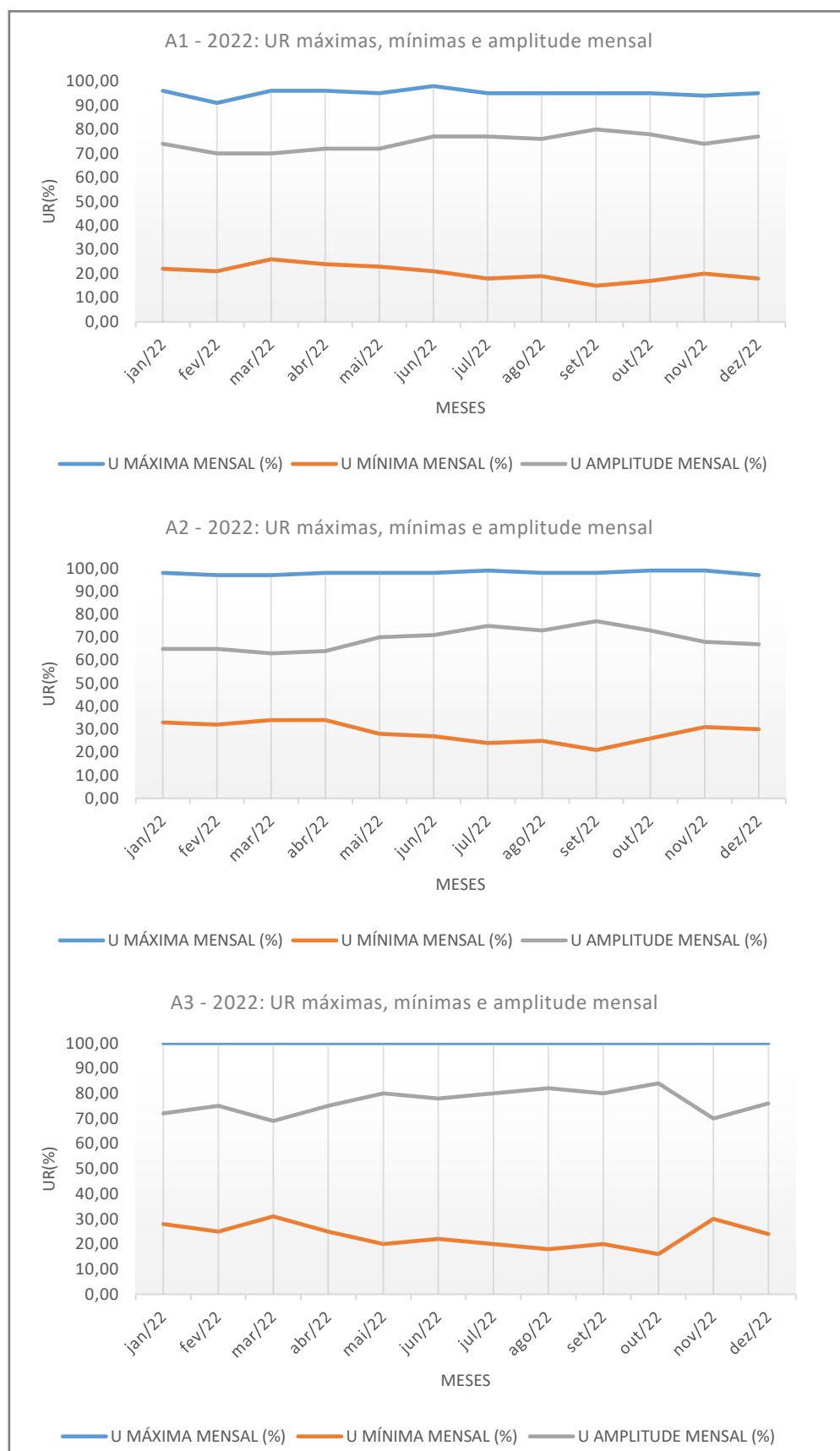
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 50: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2021: A1, A2 e A3.



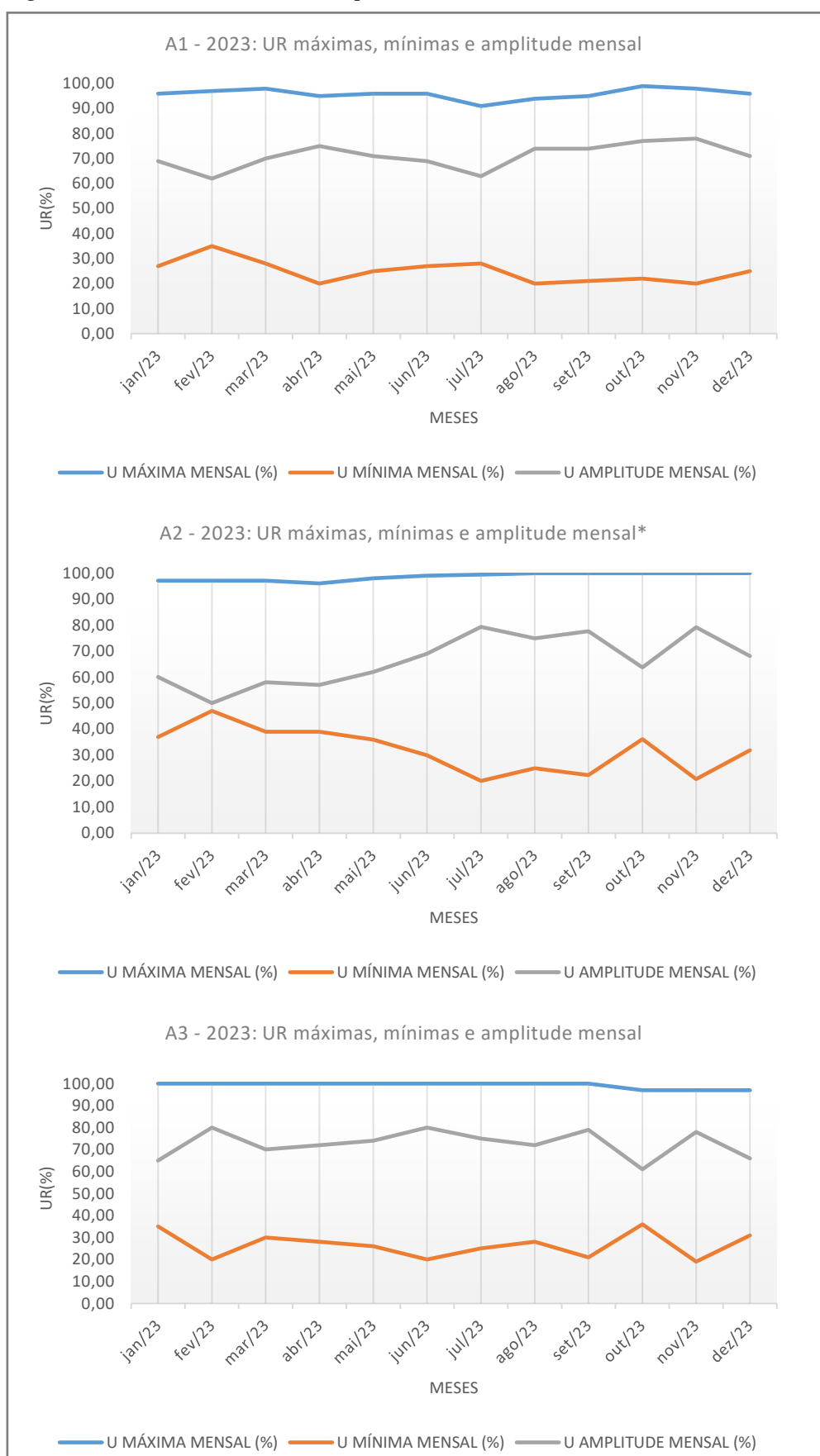
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 51: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2022: A1, A2 e A3.



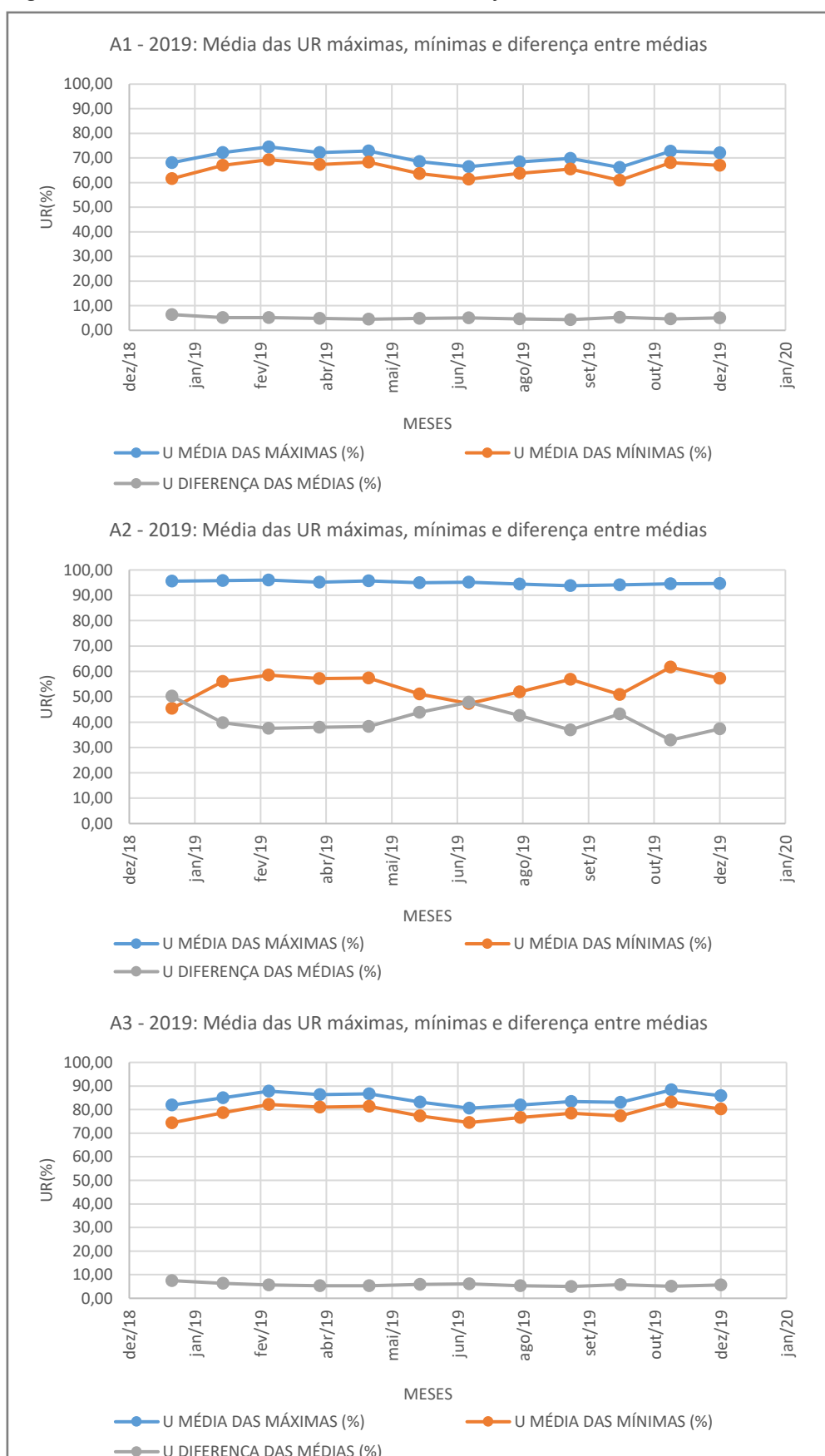
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 52: UR máximas, mínimas e amplitude mensal - 2023: A1, A2 e A3.



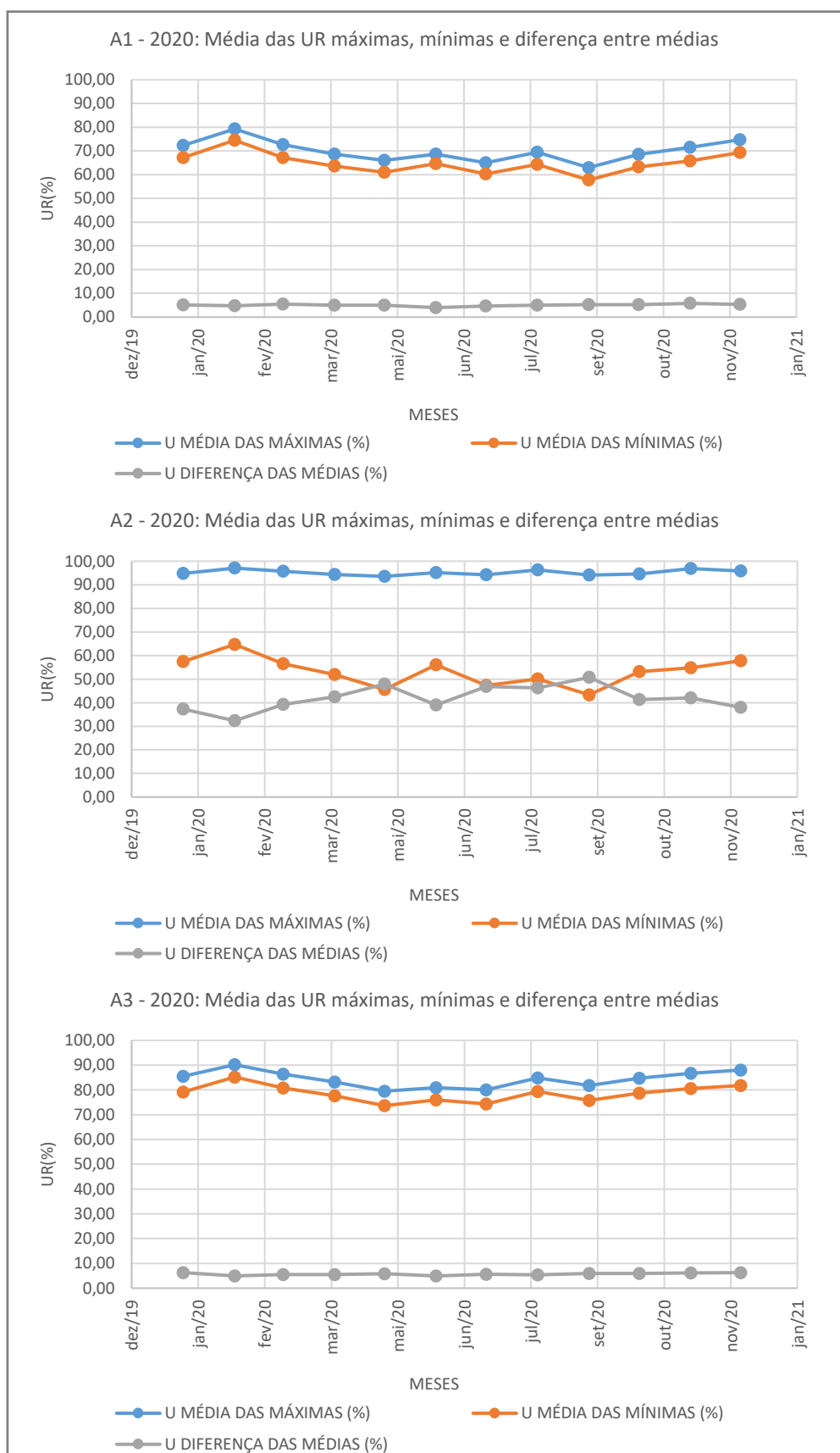
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 53: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2019: A1, A2 e A3.



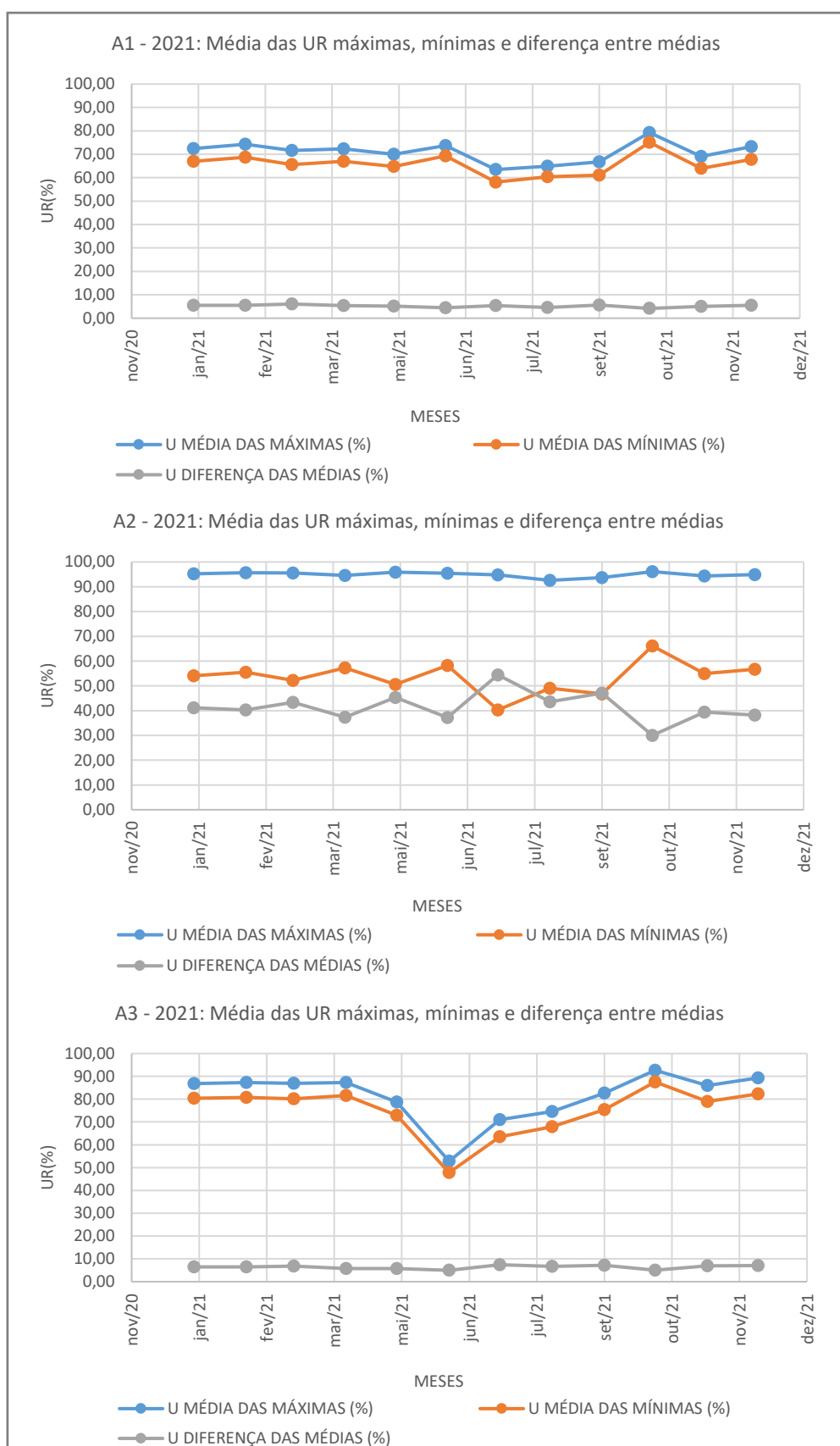
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 54: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2020: A1, A2 e A3.



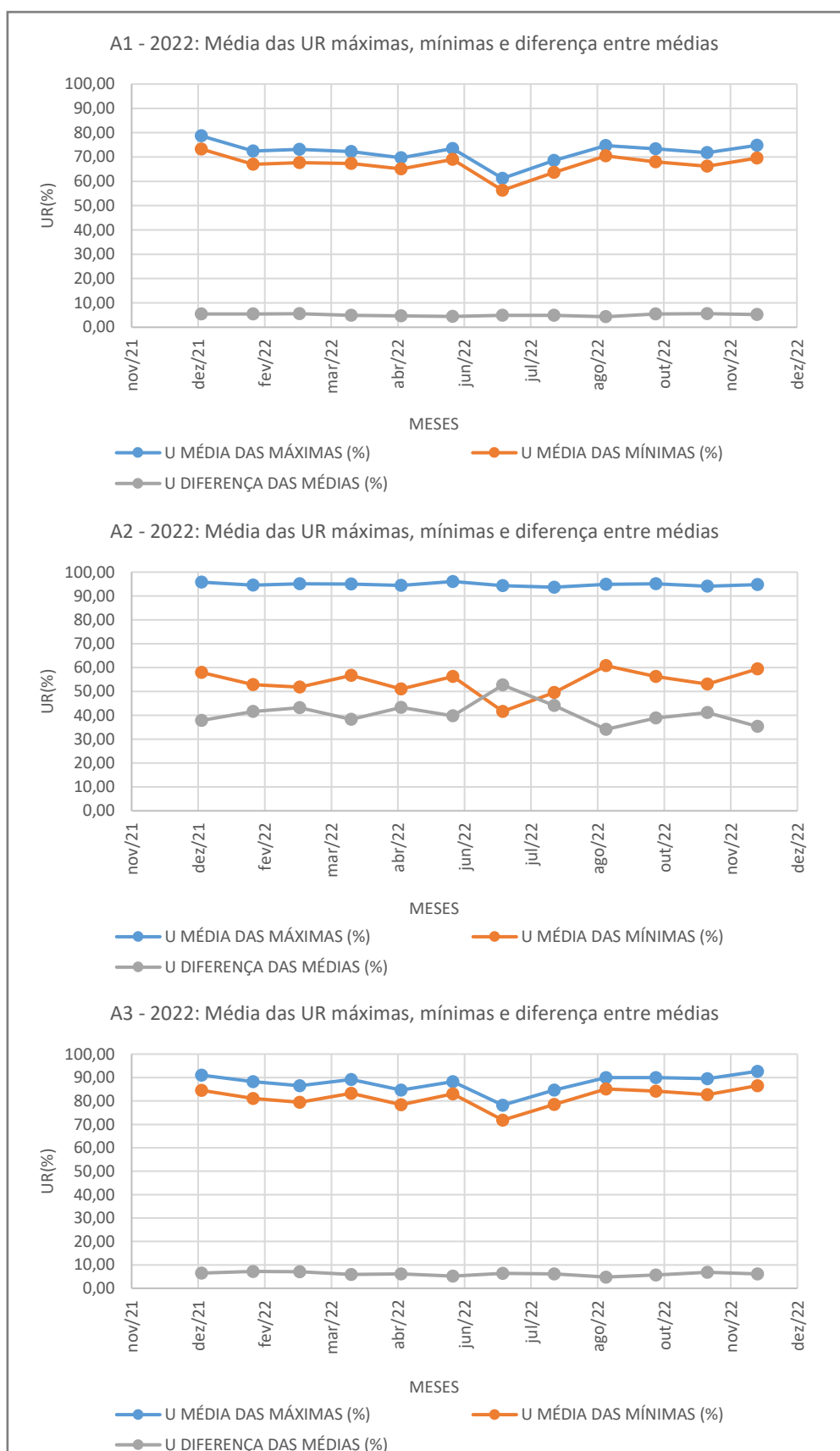
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 55: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2021: A1, A2 e A3.



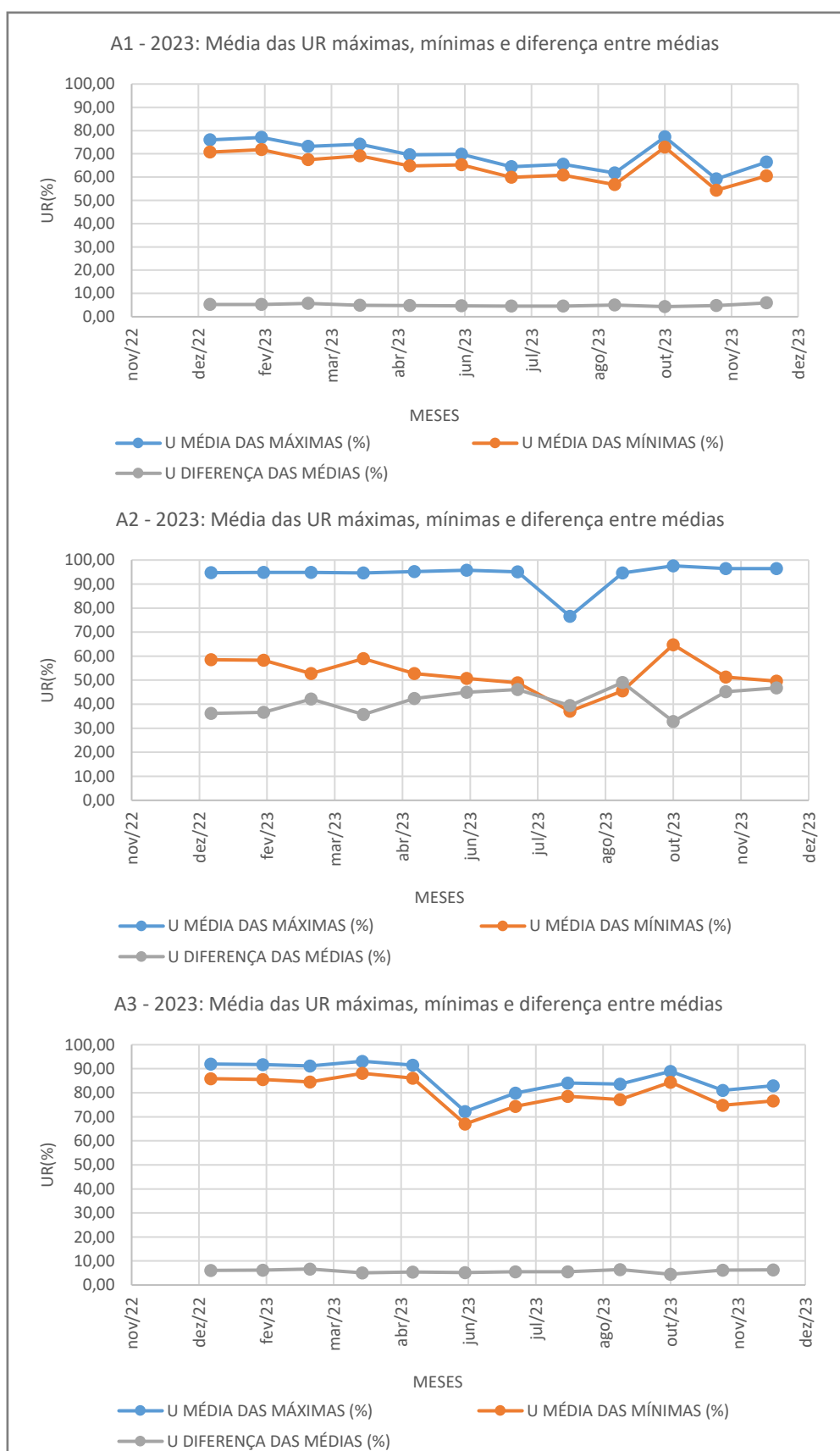
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 56: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2022: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 57: Média das UR máximas, mínimas e diferença entre médias - 2023: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

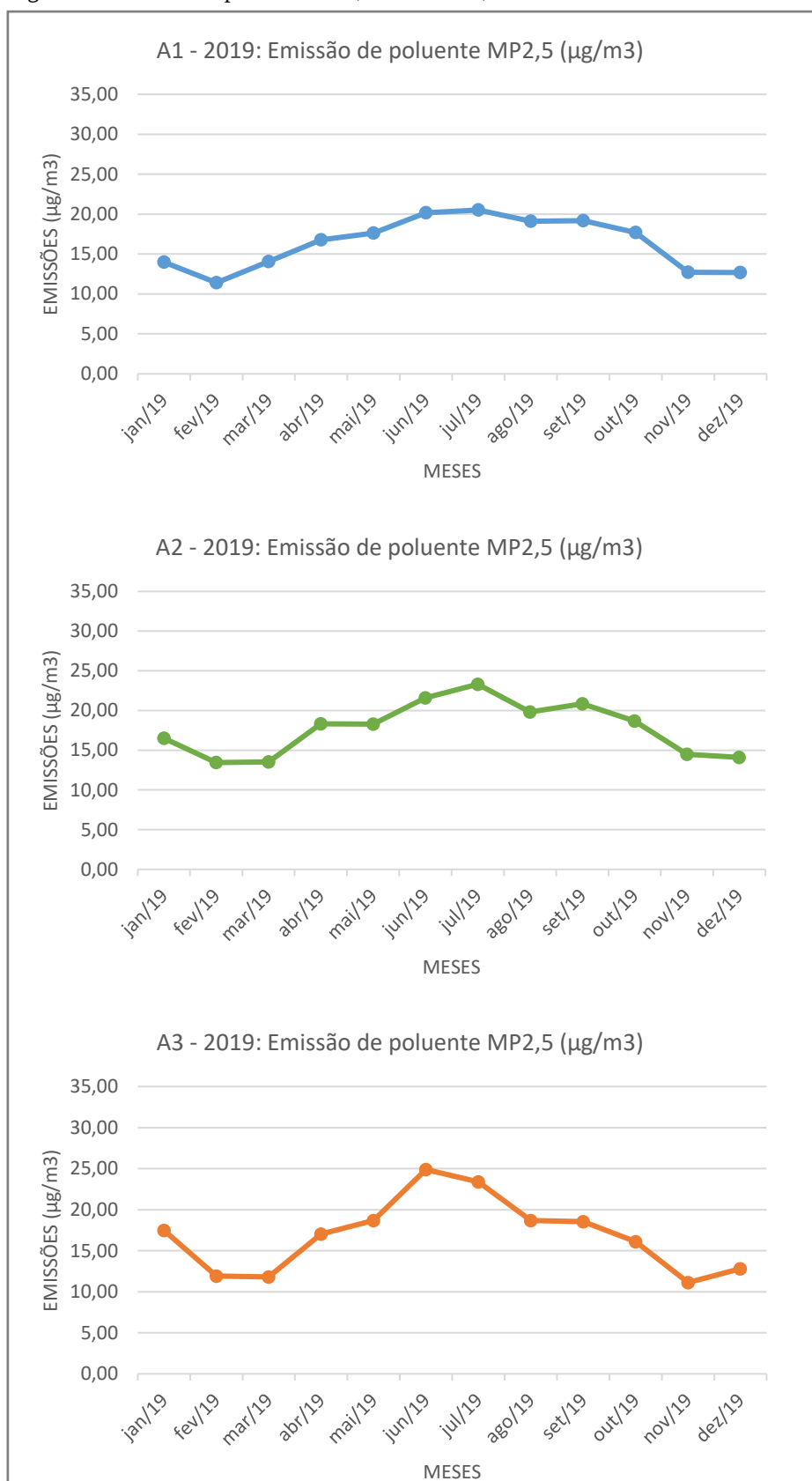
Os dados relativos à emissão de poluente  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), demonstram-se por meio dos gráficos da Figura 58 à 62.

Observa-se que os índices mais elevados ocorreram nas três áreas de estudo durante os meses de inverno. Tal comportamento pode ser parcialmente atribuído à ocorrência de inversão térmica — fenômeno comum na cidade de São Paulo nesse período do ano —, no qual uma camada de ar mais quente se sobrepõe a uma camada de ar frio próxima ao solo, dificultando a dispersão dos poluentes (Lombardo *et al.*, 2022).

Esse padrão também reflete os efeitos da intensa urbanização, especialmente em A1 e A2, que apresentam tráfego veicular intenso e elevada concentração de fontes emissoras, como indústrias e atividades comerciais.

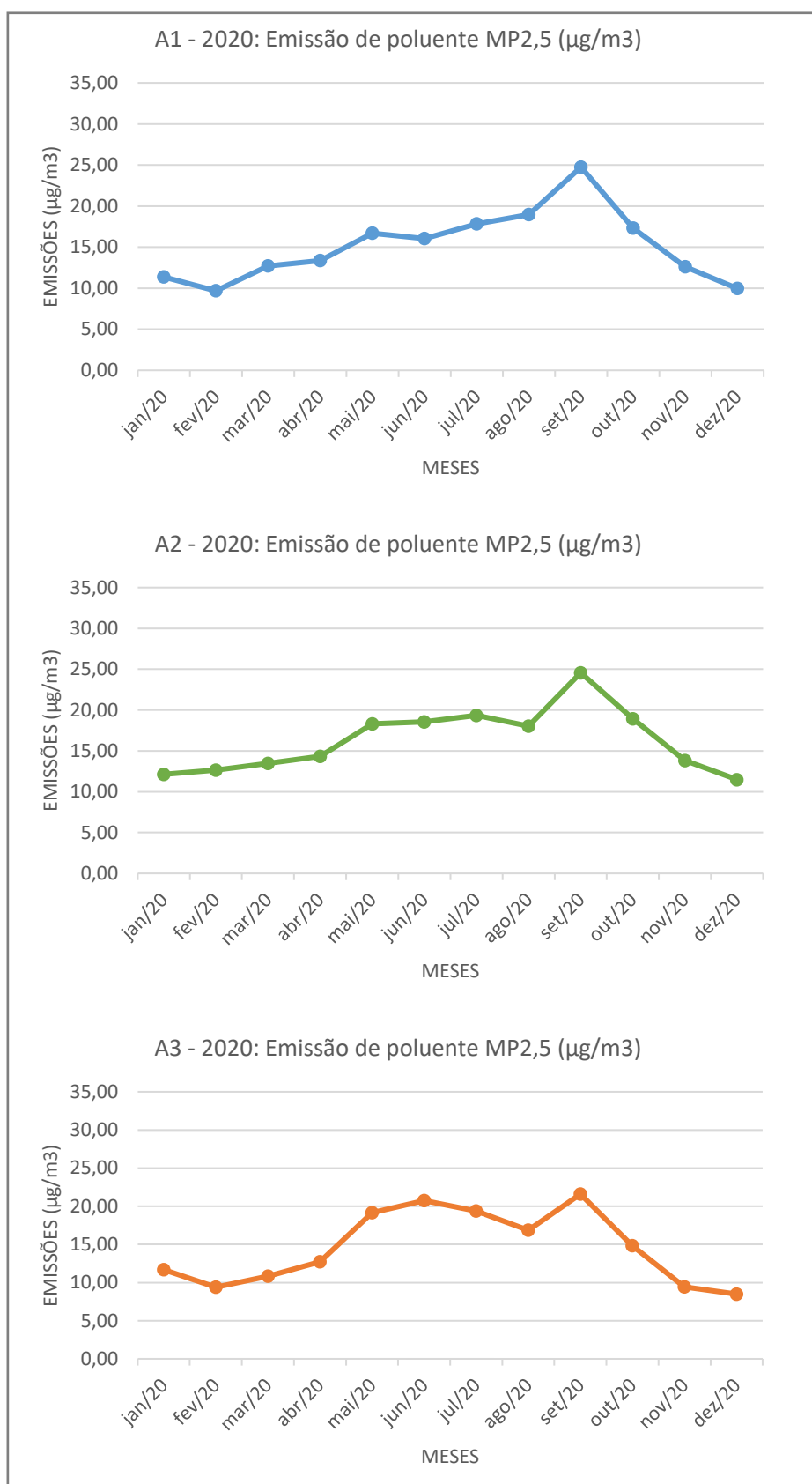
A relação entre uso e ocupação do solo e a concentração de material particulado reforça a importância de estratégias voltadas à redução das emissões e ao planejamento urbano sustentável, visando minimizar os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde da população.

Figura 58: Emissão de poluente MP2,5 - 2019: A1, A2 e A3.



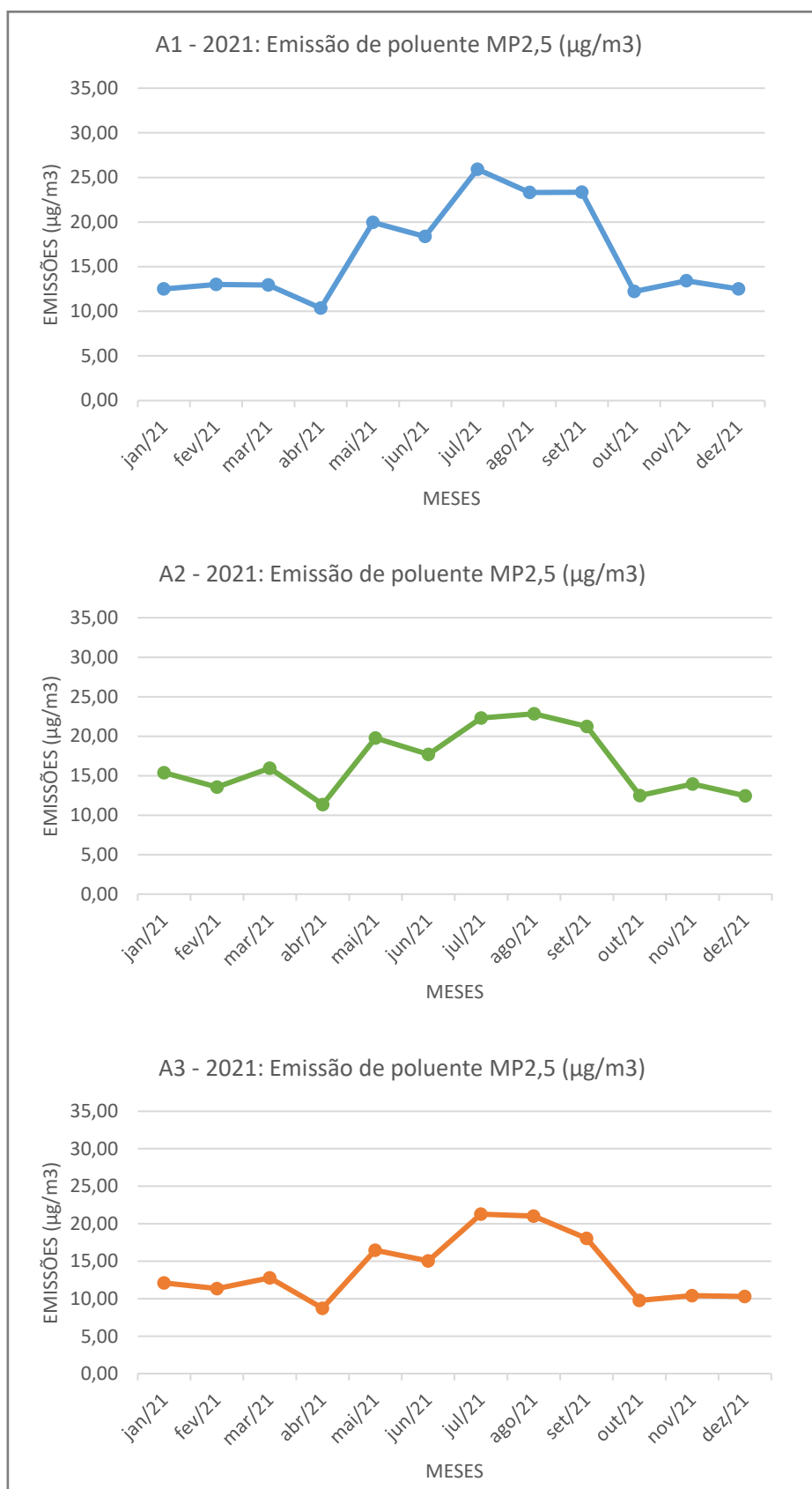
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 59: Emissão de poluente MP2,5 - 2020: A1, A2 e A3.



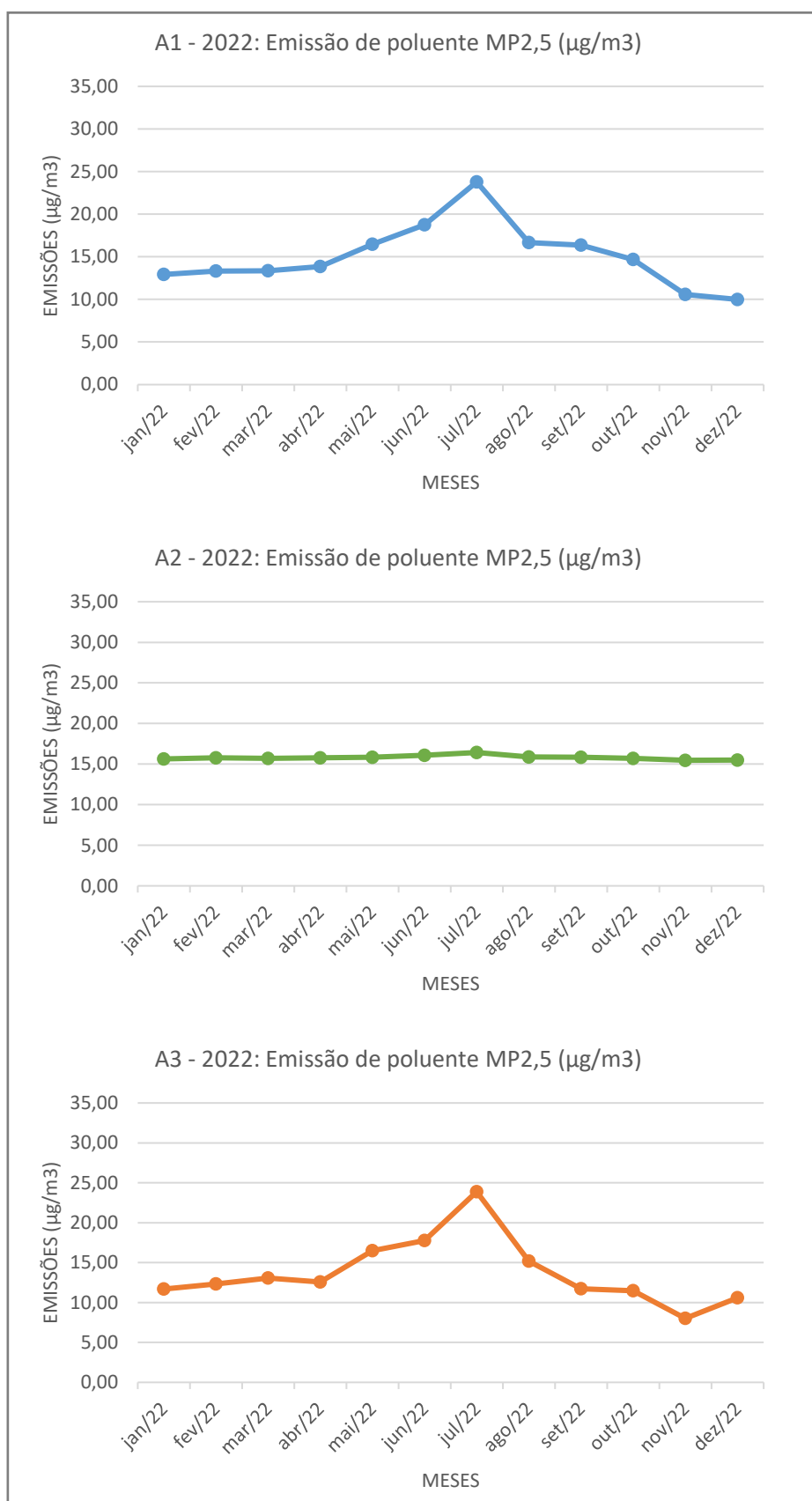
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 60: Emissão de poluente MP2,5 - 2021: A1, A2 e A3.



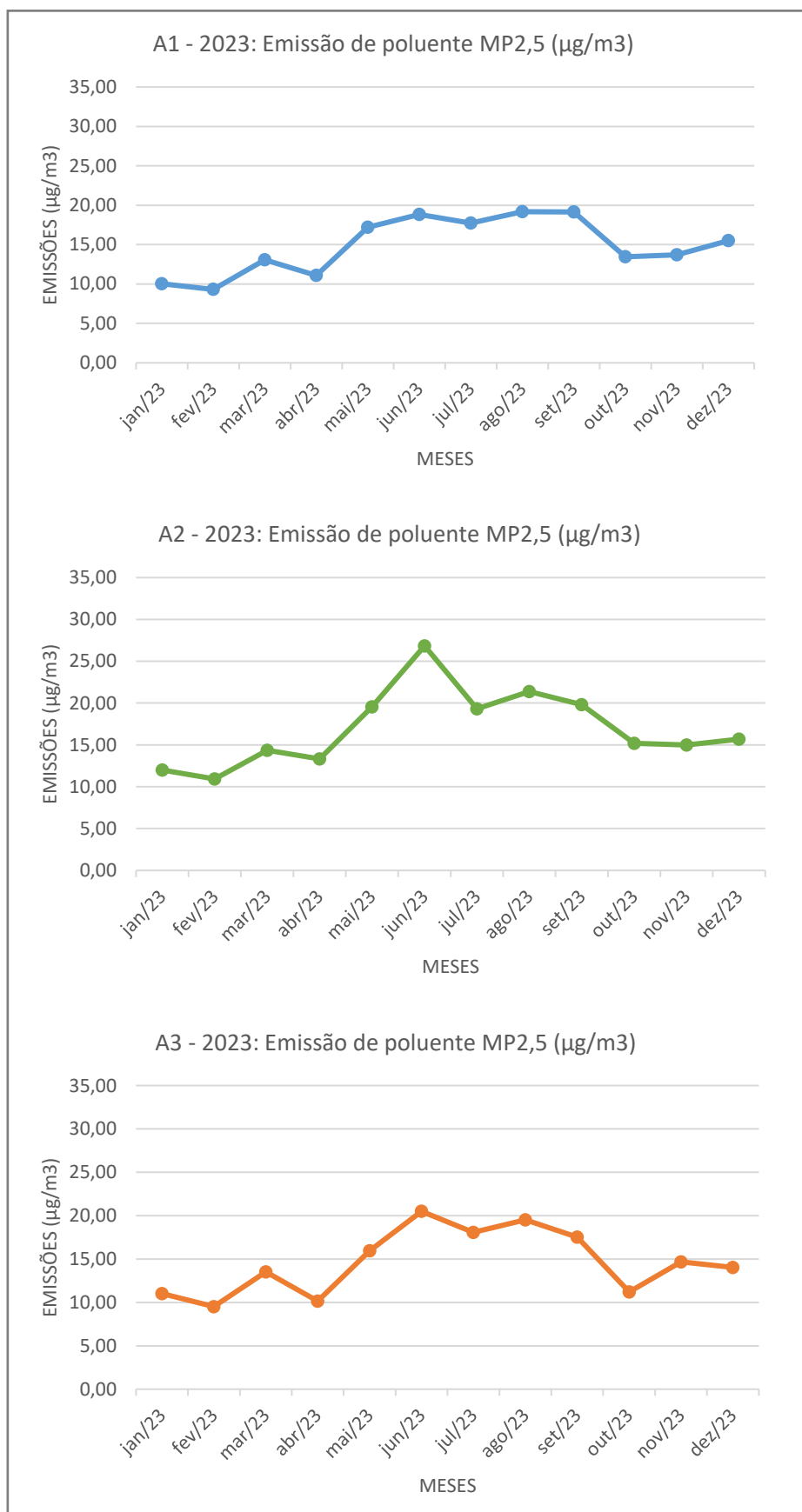
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 61: Emissão de poluente MP2,5 - 2022: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 62: Emissão de poluente MP2,5 - 2023: A1, A2 e A3.



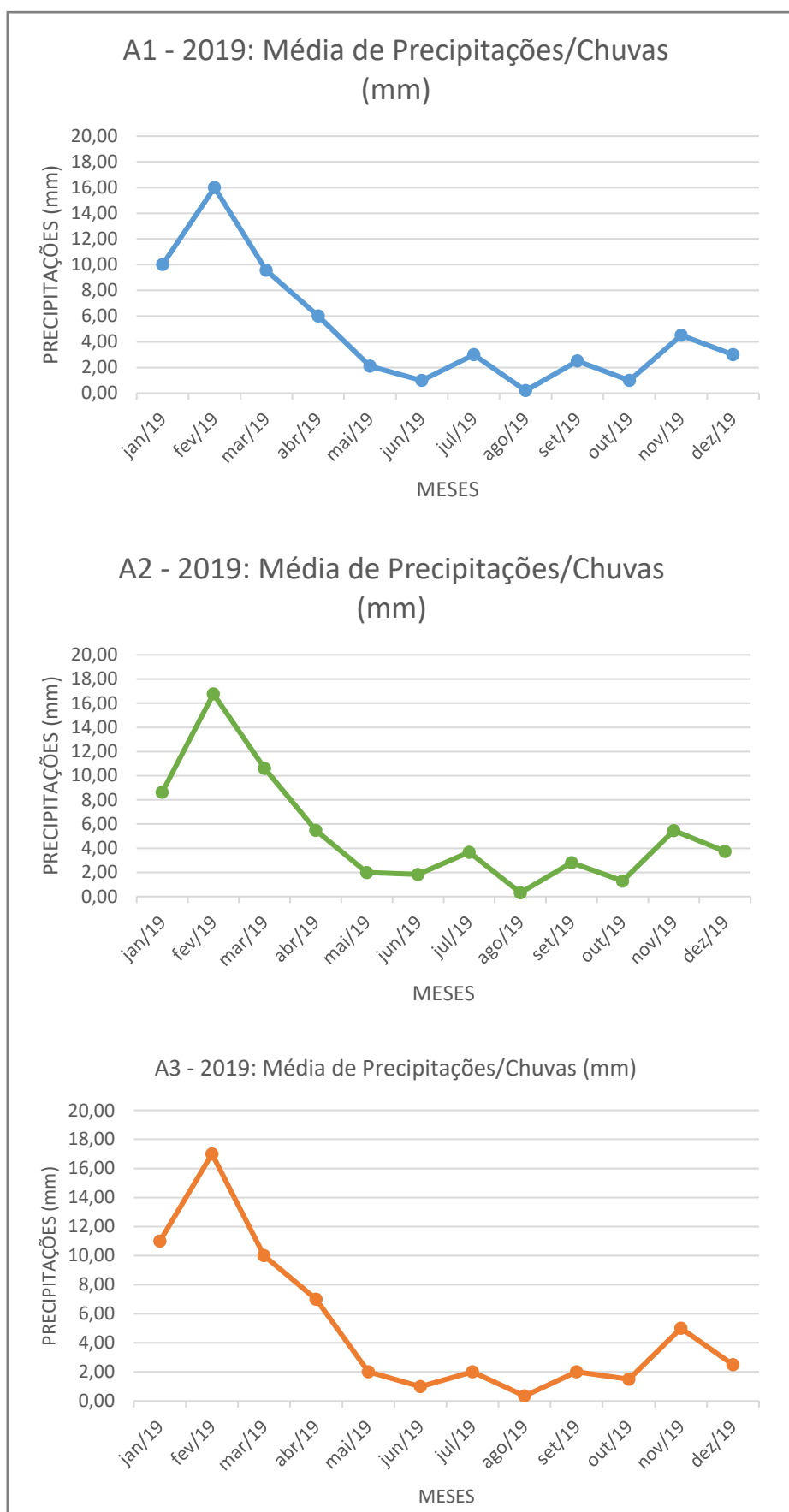
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os gráficos referentes à precipitação e velocidade dos ventos em A1, A2 e A3, são apresentados da Figura 63 à 72.

A média de precipitações foi semelhante nas três áreas de estudo, com valores mais elevados nos meses de dezembro, e entre janeiro e março.

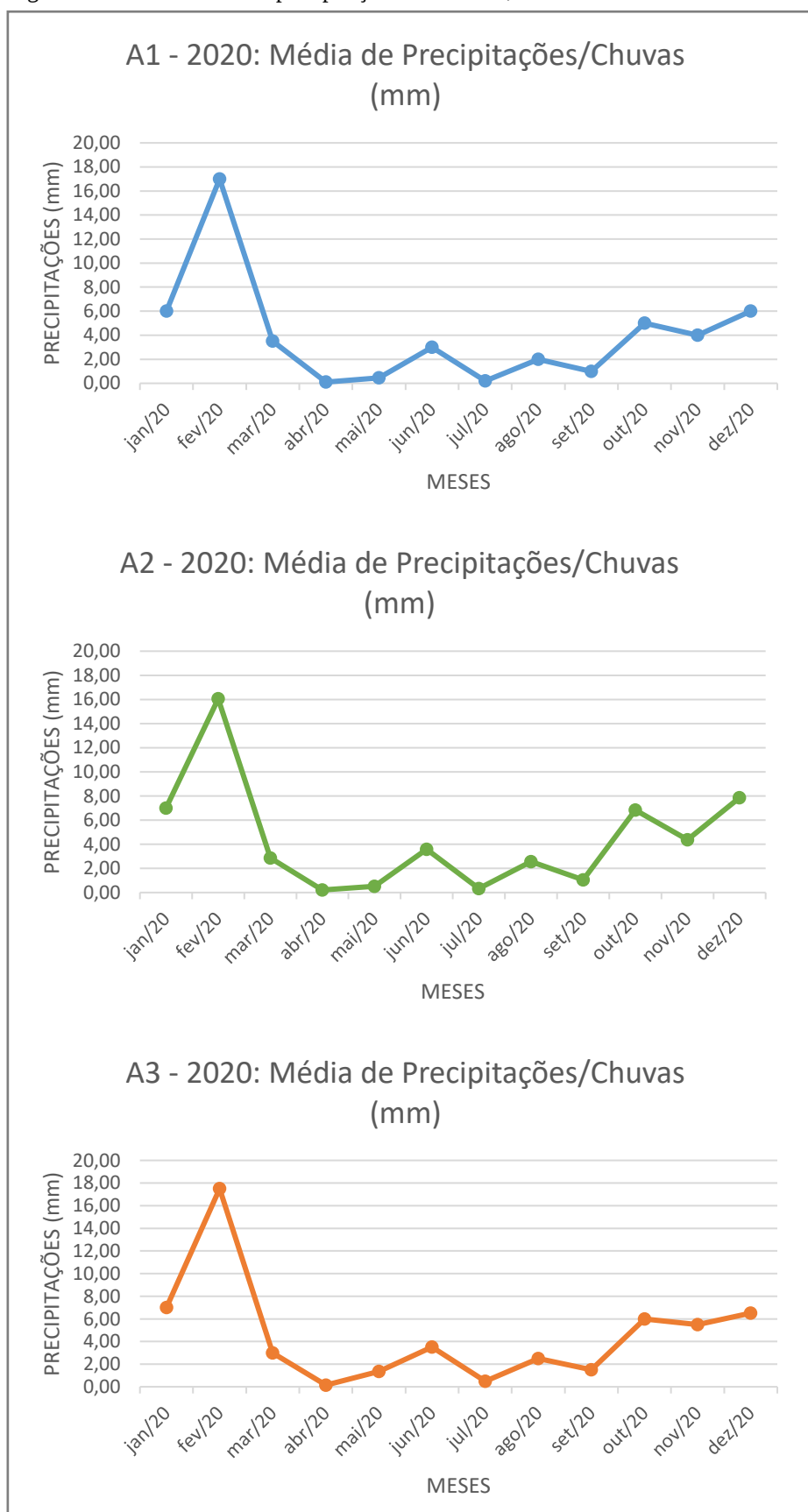
A média da velocidade dos ventos se mostrou mais elevada em A2 durante todo o intervalo temporal. Tal comportamento pode estar relacionado tanto às características geográficas da região quanto à influência de atividades humanas. Ainda assim, os valores registrados encontram-se dentro dos padrões esperados para a cidade de São Paulo (Rozolen; Galvani, 2018).

Figura 63: Média mensal de precipitações - 2019: A1, A2 e A3.



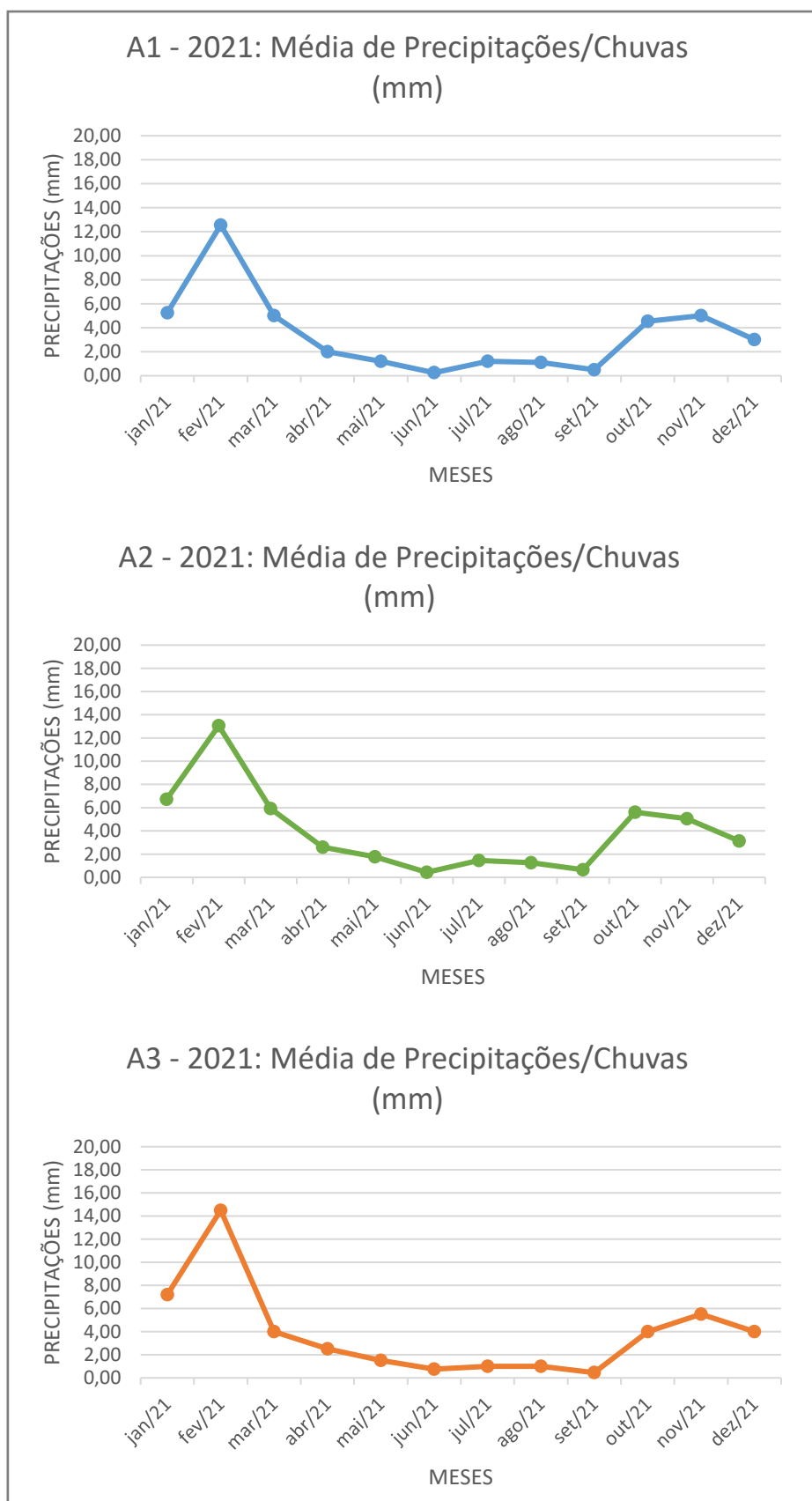
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 64: Média mensal de precipitações - 2020: A1, A2 e A3.



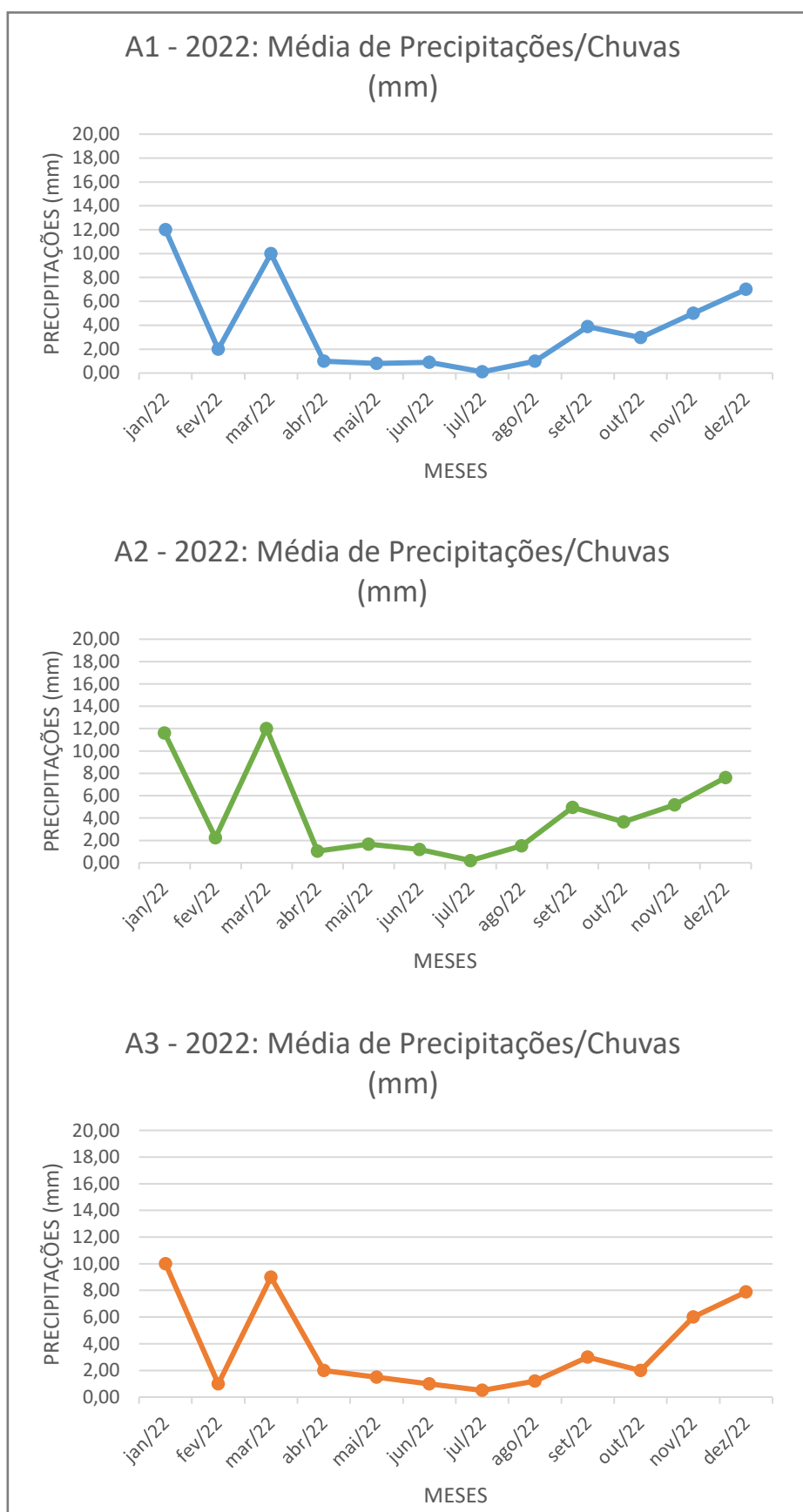
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 65: Média mensal de precipitações - 2021: A1, A2 e A3.



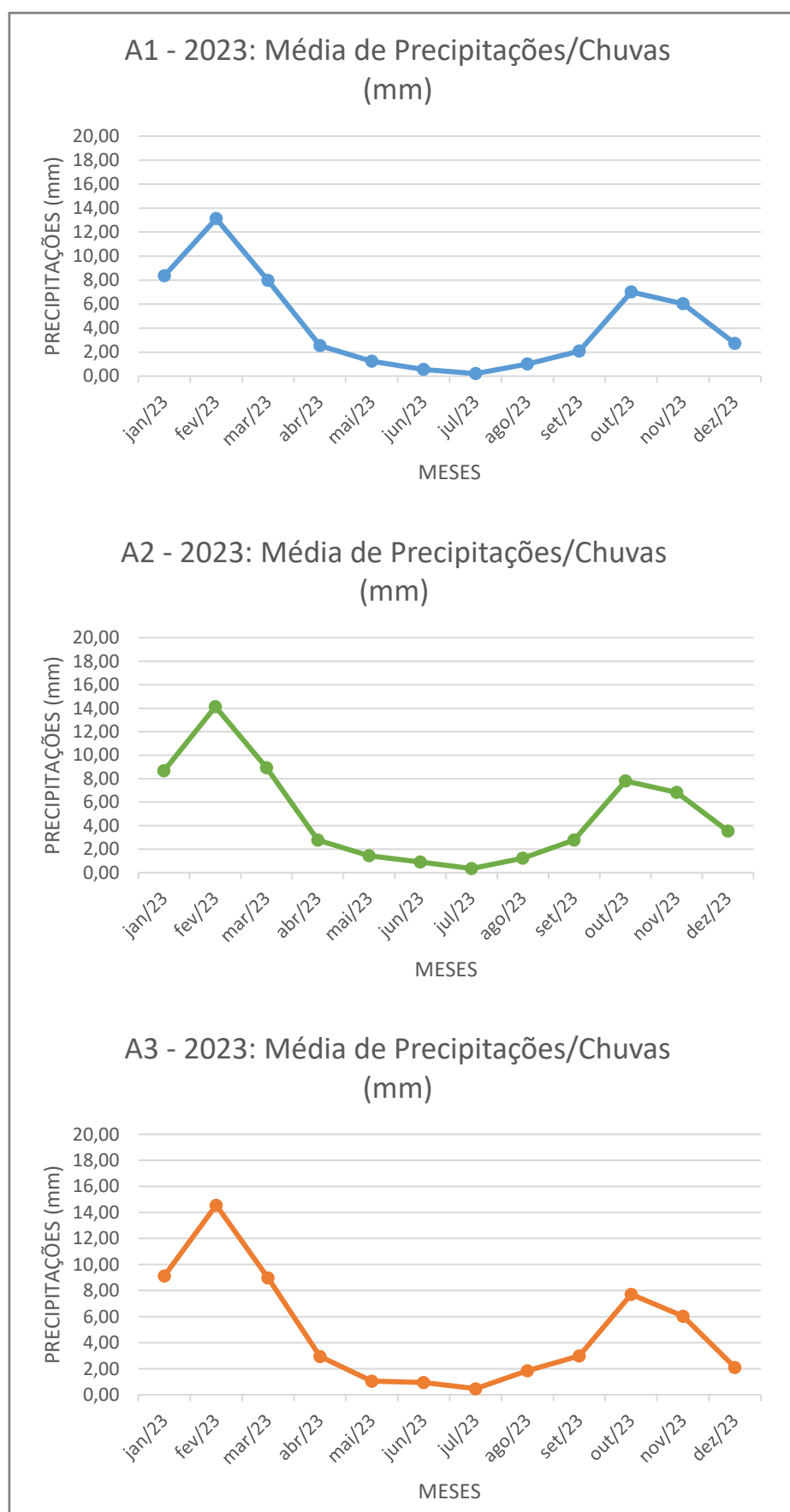
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 66: Média mensal de precipitações - 2022: A1, A2 e A3.



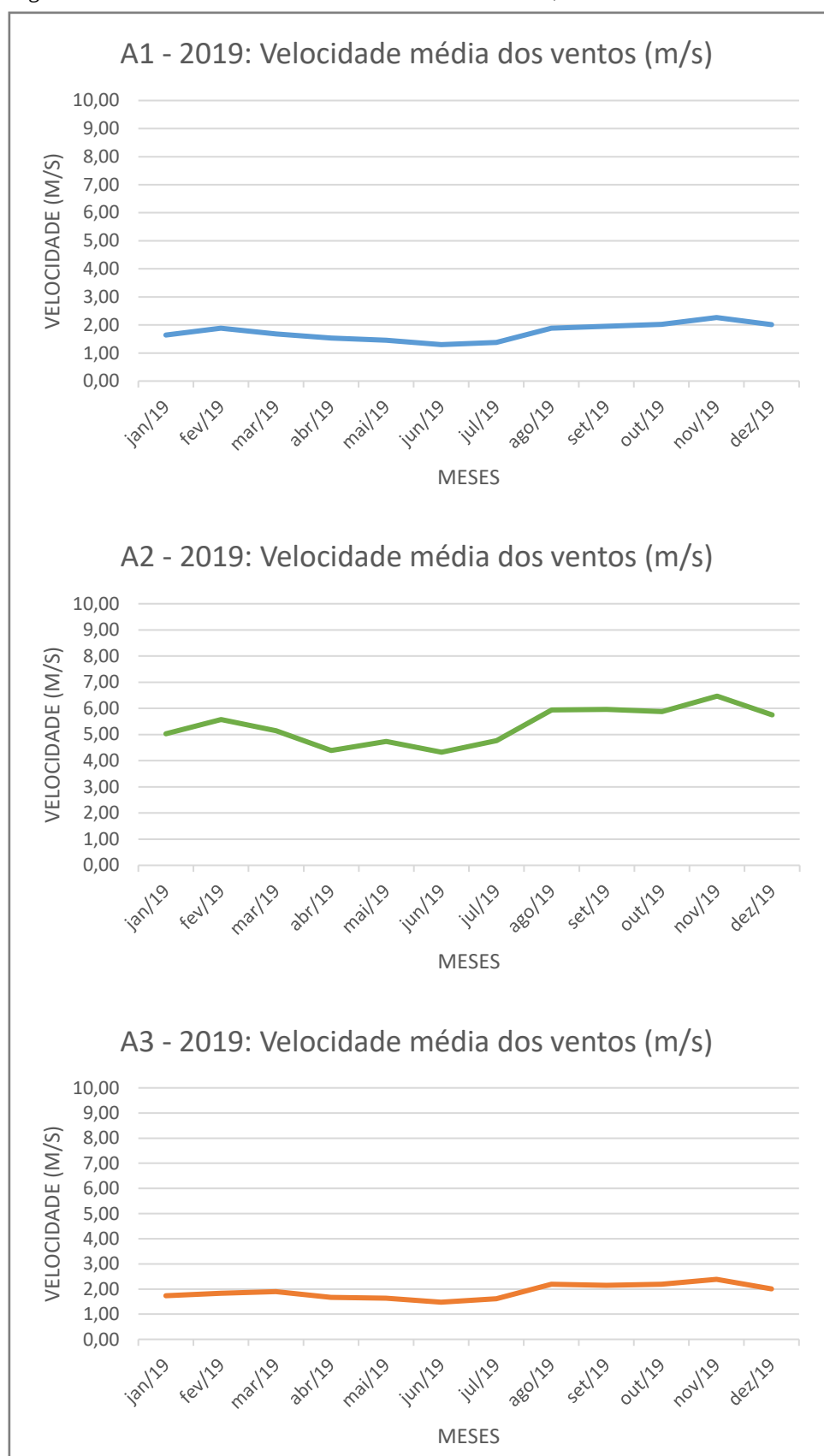
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 67: Média mensal de precipitações - 2023: A1, A2 e A3.



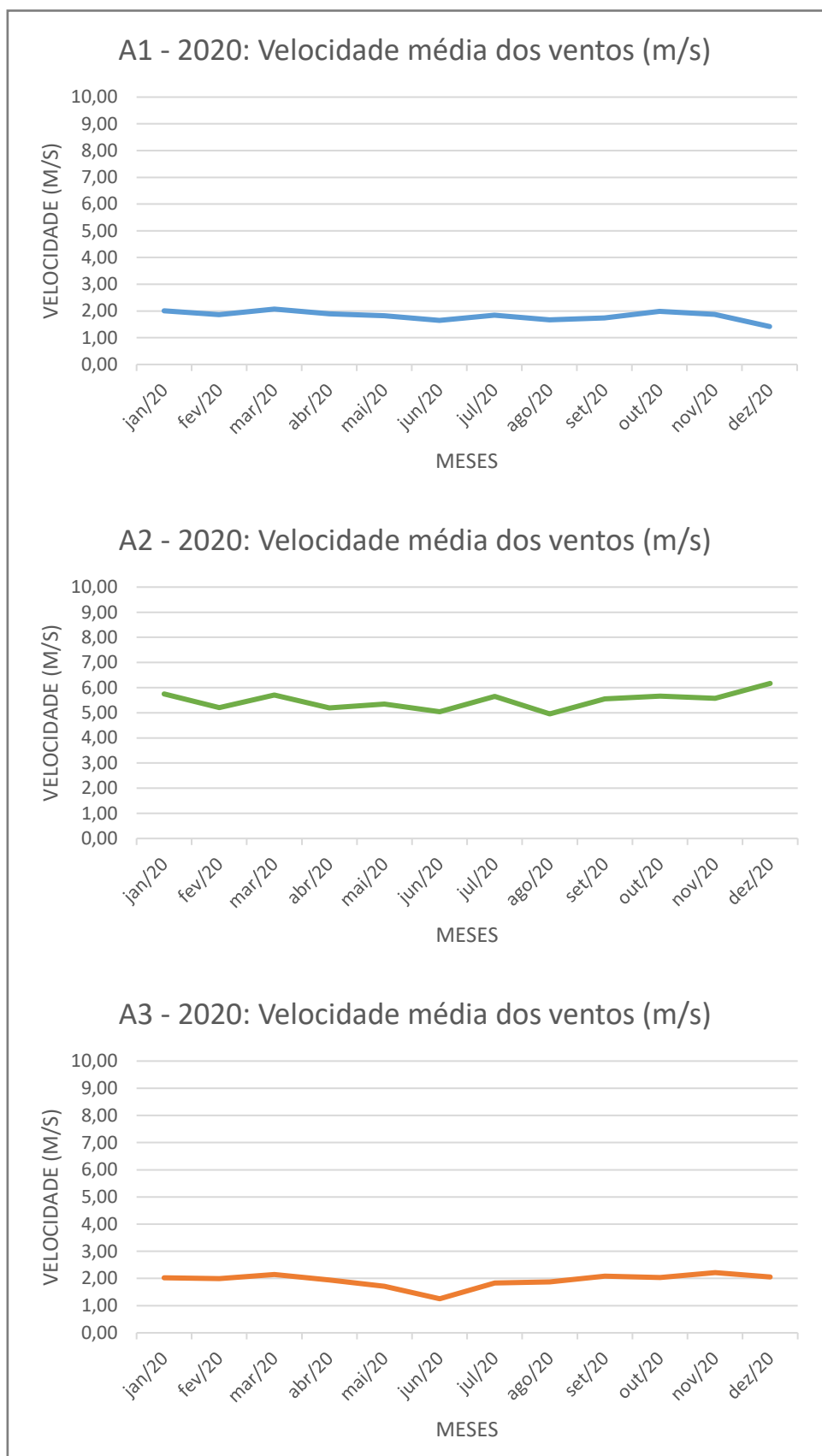
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 68: Velocidade média mensal dos ventos - 2019: A1, A2 e A3.



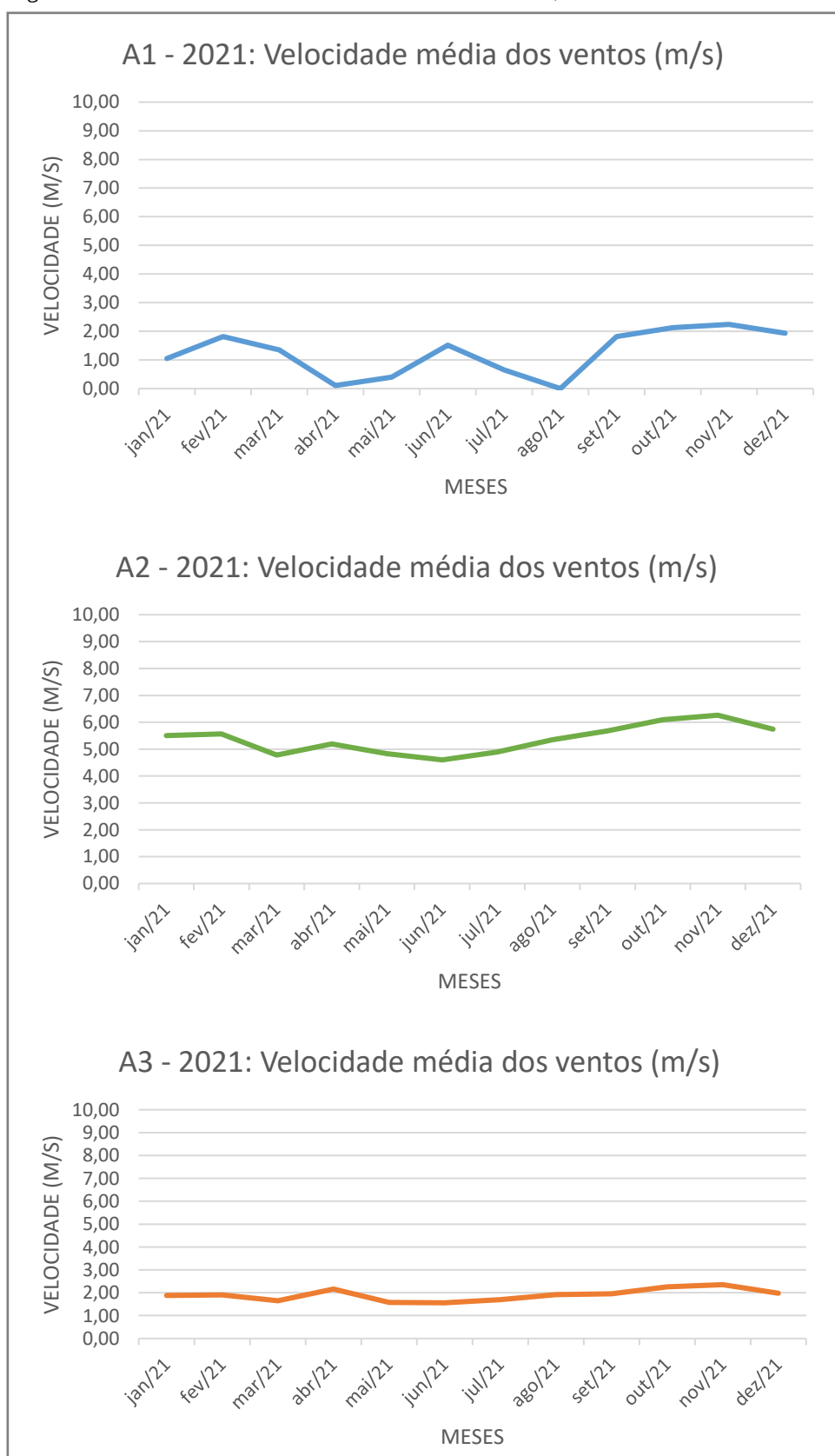
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 69: Velocidade média mensal dos ventos - 2020: A1, A2 e A3.



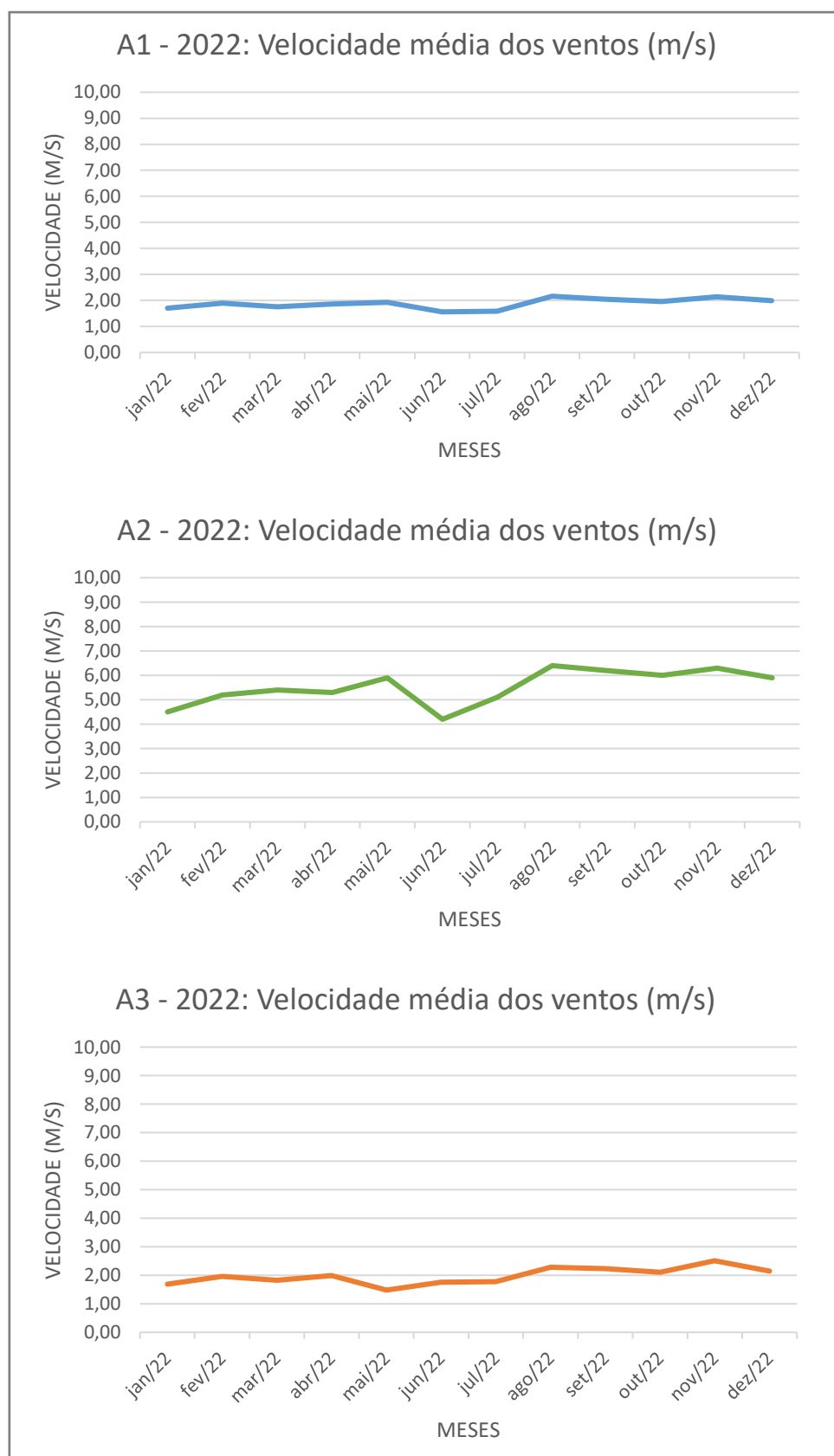
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 70: Velocidade média mensal dos ventos - 2021: A1, A2 e A3.



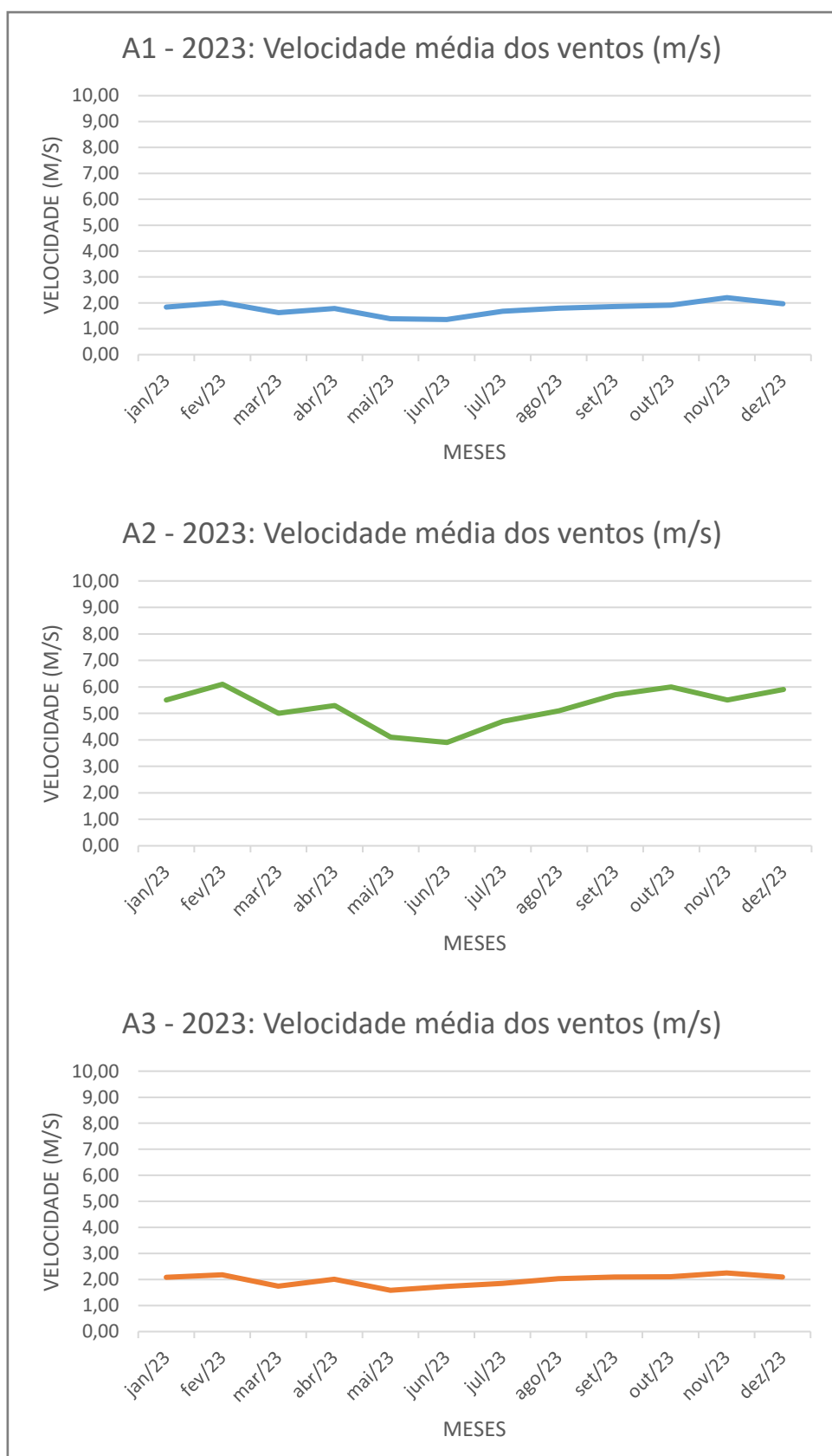
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Figura 71: Velocidade média mensal dos ventos - 2022: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

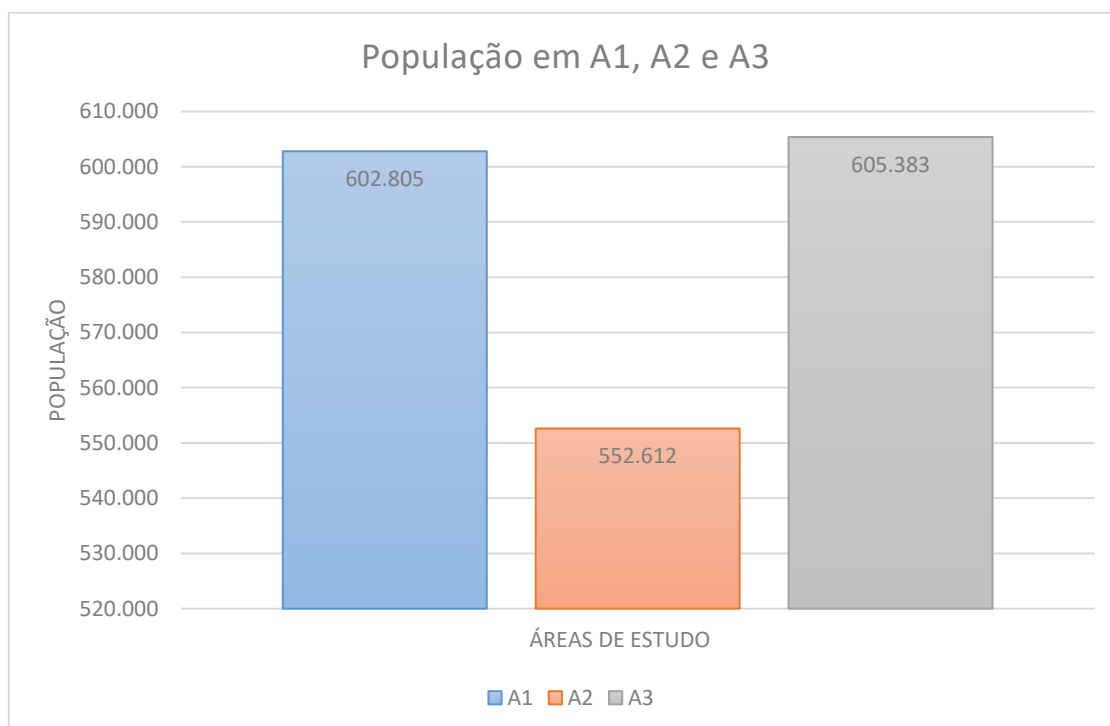
Figura 72: Velocidade média mensal dos ventos - 2023: A1, A2 e A3.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Exposto isso, apresentam-se, a seguir, dados provenientes da Secretaria Municipal de Saúde de São Paulo, extraídos do Boletim de Saúde publicado em 2024<sup>15</sup>, com informações referentes ao ano de 2023. Conforme descrito na seção de Metodologia, os dados referentes a A1, A2 e A3 correspondem às CRS/STS de Santana/Jaçañã, Vila Mariana/Jabaquara e Capela do Socorro, respectivamente. Tais informações estão ilustradas nas Figuras 73, 74 e 75.

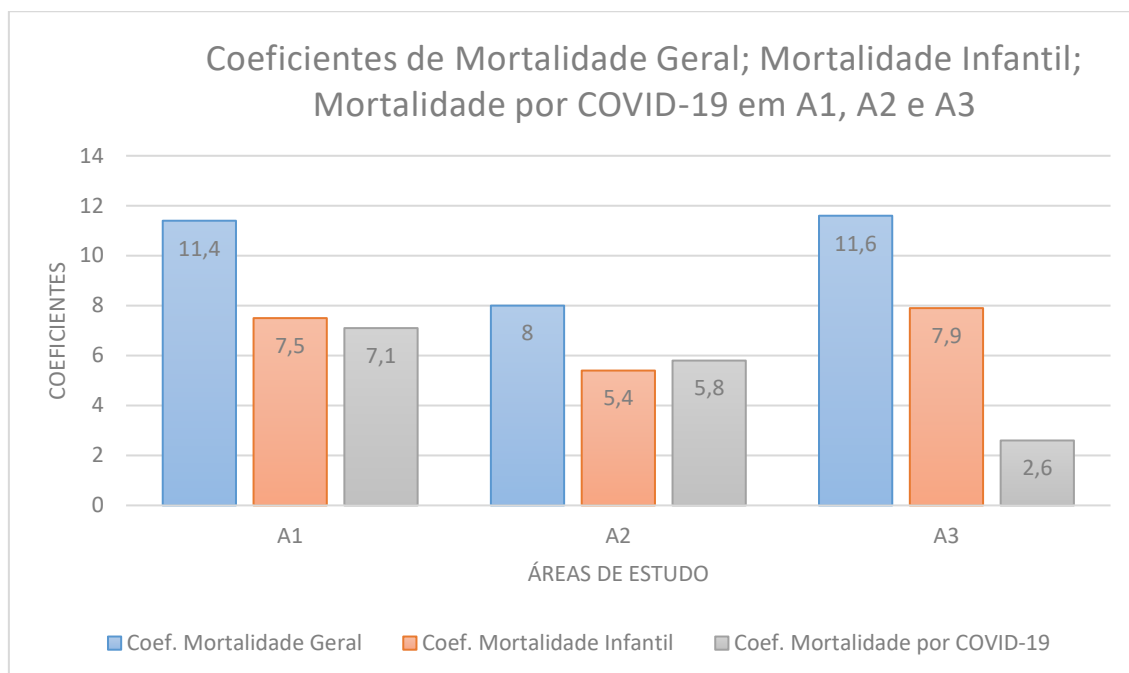
Figura 73: Número de habitantes em A1, A2 e A3, com base no último Censo (2022), cujos dados foram utilizados no Boletim de Saúde.



Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base no Boletim CEInfo Saúde em Dados (2024).

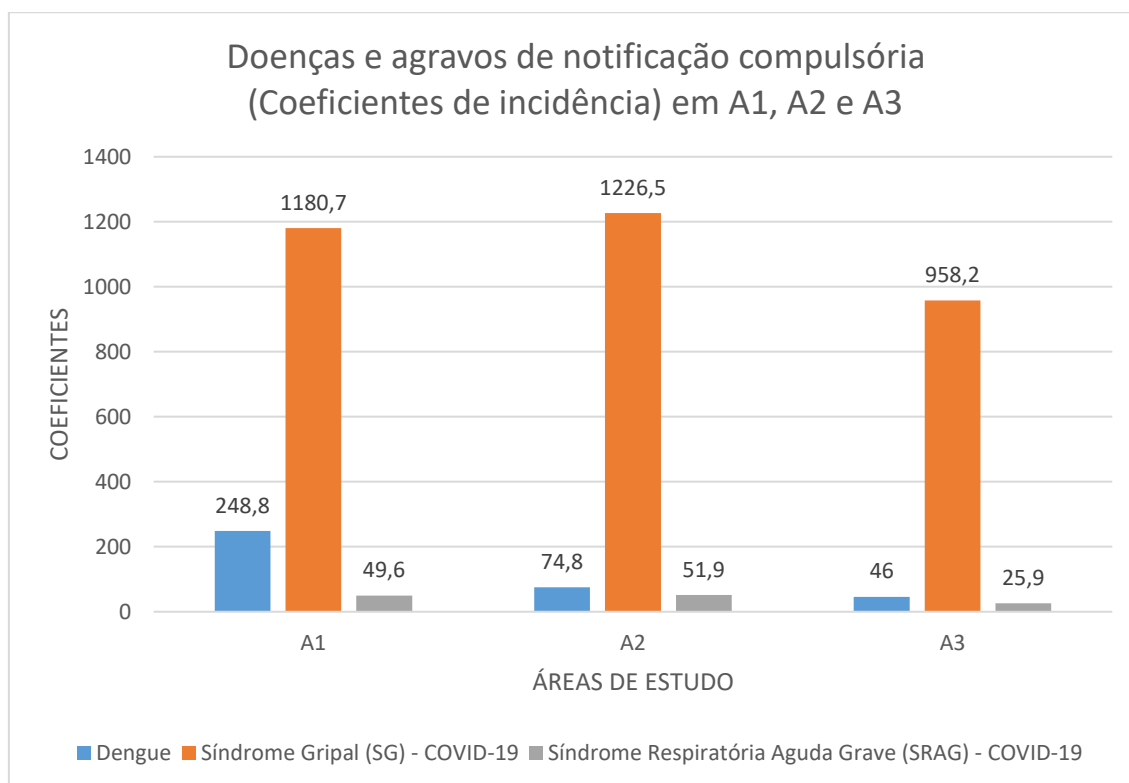
<sup>15</sup> Disponível em <[https://capital.sp.gov.br/web/saude/w/epidemiologia\\_e\\_informacao/258529](https://capital.sp.gov.br/web/saude/w/epidemiologia_e_informacao/258529)>. Acesso em 21 dez. 2024.

Figura 74: Coeficiente de mortalidade geral (CMG/ mil habitantes); Coeficiente de mortalidade infantil (CMI/ mil nascidos vivos) e Coeficiente de mortalidade por COVID-19 (CM/ 100 mil habitantes).



Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base no Boletim CEInfo Saúde em Dados (2024).

Figura 75: Coeficientes de Incidência (CI/ 100 mil habitantes) de doenças e agravos de notificação compulsória.



Fonte: Elaborado pela autora (2024), com base no Boletim CEInfo Saúde em dados (2024).

Com base nos dados relacionados à população e saúde em A1, A2 e A3, nota-se que A3, embora apresente maior população e elevados coeficientes de mortalidade geral e infantil, contrasta com as outras duas áreas nos coeficientes de mortalidade por COVID-19 e de doenças e agravos de notificação compulsória. É possível relacionar, portanto, à densa área urbanizada presente em A1 e A2, além da concentração de poluentes, que podem acentuar a incidência de doenças como a COVID-19 e a dengue, por exemplo.

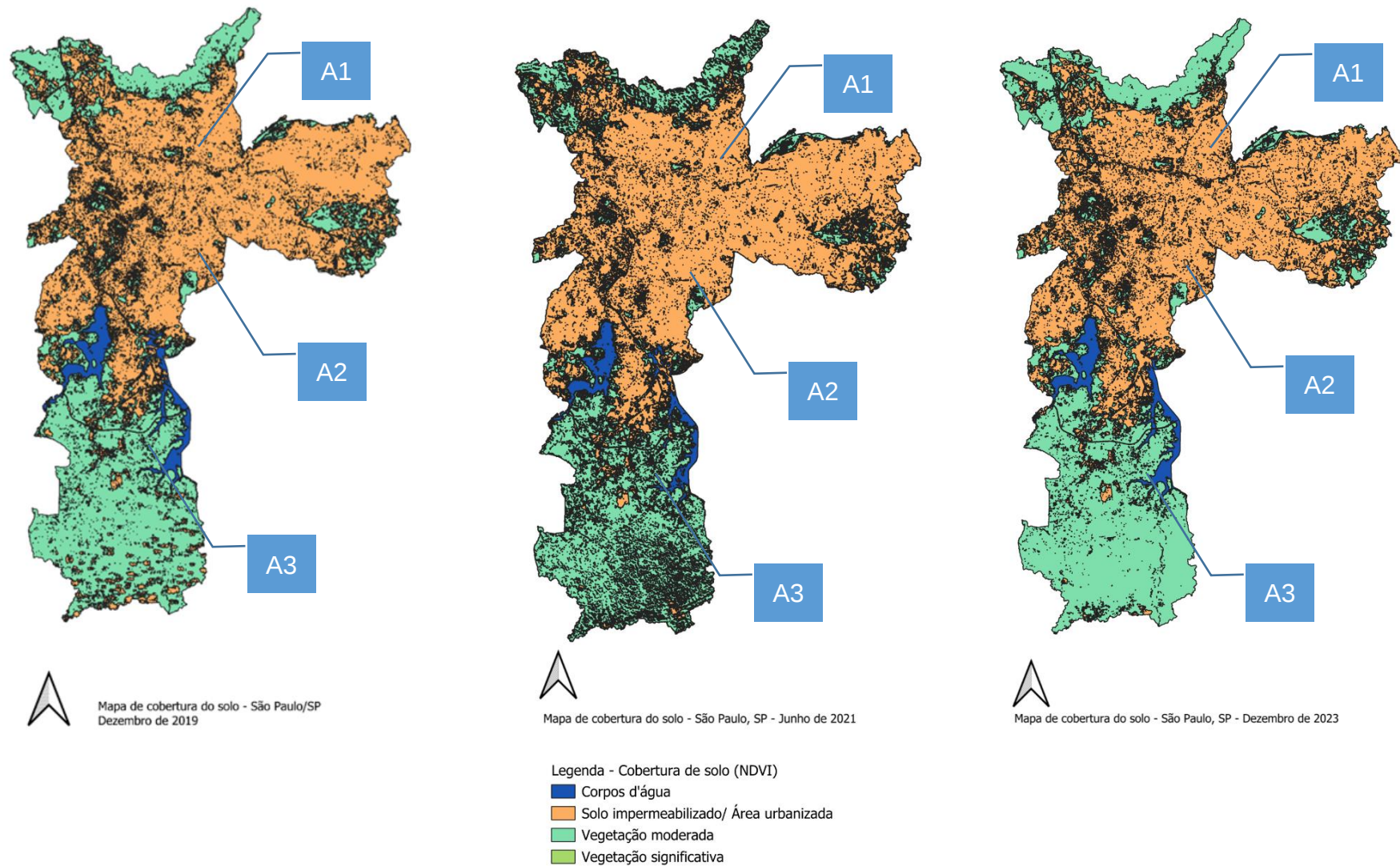
### *3.3.3 Análise dos mapas de cobertura e temperatura de solo (NDVI/ LST)*

Os dados apresentados na subseção anterior indicam que A1 e A2 registraram maiores temperaturas e menores índices de umidade relativa do ar, enquanto o oposto foi observado em A3, na maior parte do período estudado. Além disso, a menor incidência de doenças e agravos de notificação compulsória foi observada em A3.

Os mapas de cobertura do solo (NDVI) reforçam essa análise, evidenciando que A3 possui uma maior área arborizada em comparação com A1 e A2, que estão situadas próximas ao centro da cidade e são mais densamente urbanizadas. Da mesma forma, os mapas de temperatura da superfície do solo (LST) destacam a concentração de temperaturas mais altas na região central de São Paulo, abrangendo A1 e A2.

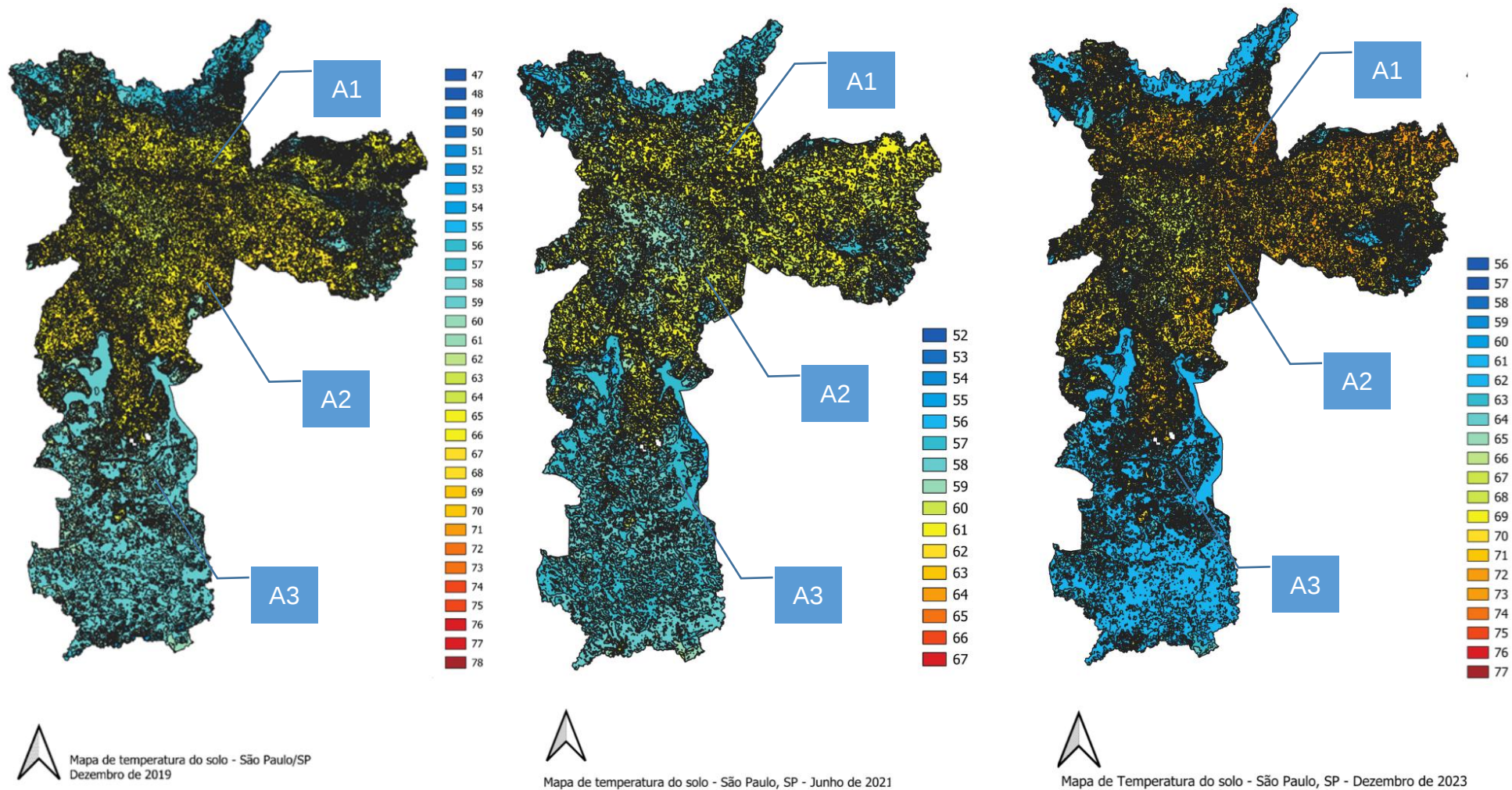
As Figuras 76 e 77 exibem os mapas gerados para ilustrar visualmente a análise, proporcionando uma melhor compreensão dos padrões observados.

Figura 76: Mapas de cobertura do solo (NDVI) – dezembro/2019, junho/2021 e dezembro/2023, cidade de São Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

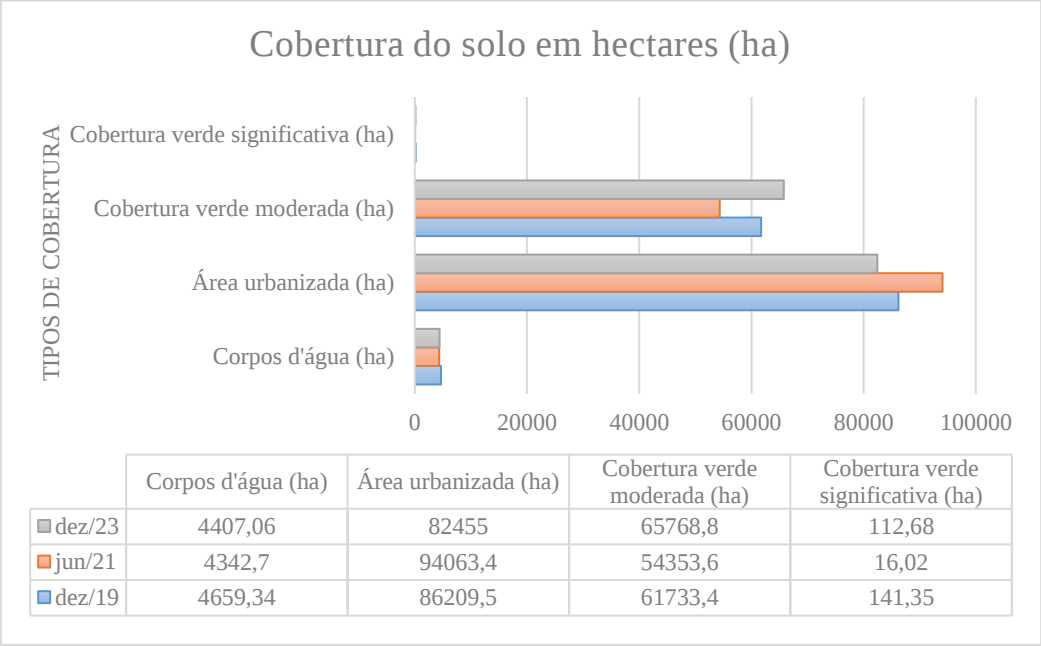
Figura 77: Mapa de temperatura da superfície do solo (LST) – dezembro/2019, junho/2021 e dezembro/2023, cidade de São Paulo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As imagens destacam a intensa urbanização na região central e nos arredores da cidade, além do aumento da temperatura superficial, os quais intensificam a ocorrência de ICU. Os dados quantitativos, obtidos por meio da geração dos mapas, englobam o território da cidade de São Paulo, e são representados pelos gráficos das Figuras 78 e 79.

Figura 78: Gráfico das áreas em hectares, obtidas por meio dos mapas de cobertura do solo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 79: Gráfico das temperaturas obtidas por meio dos mapas de temperatura superficial.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os gráficos apresentados indicam uma sutil redução da cobertura verde significativa e dos corpos d'água, além de variações nos dados referentes à cobertura verde moderada e à área urbanizada. Observou-se também um aumento substancial das temperaturas superficiais, evidenciado pela elevação das médias e das temperaturas mínimas ao se comparar o primeiro e o último ano da análise.

Essa tendência sugere alterações no uso e ocupação do solo, que podem estar contribuindo para a intensificação do efeito de ilha de calor urbano. A diminuição das áreas mais frias e a expansão das regiões com temperaturas elevadas, observado nas regiões que abrangem A1, A2 e A3, reforçam a necessidade de estratégias de mitigação, como a ampliação de áreas verdes e a gestão sustentável do crescimento urbano.

### 3.4 Resultados da modelagem estatística de regressão linear múltipla (RLM)

#### 3.4.1 Área 1/ Área Norte (A1/ AN)

A modelagem estatística realizada em A1 (AN) teve como objetivo investigar os fatores que influenciaram a temperatura média mensal (TAN) com base em variáveis climáticas e de emissão de poluentes, no período de 2019 a 2023.

Conforme apresentado na Metodologia, a variável dependente é a Temperatura média mensal (TAN), enquanto as variáveis independentes são: Umidade média mensal (UAN), Emissão de Poluentes  $MP_{2,5}$  (EPAN), Precipitação média mensal (PAN) e Velocidade média dos ventos (VAN), cujo software utilizado para os testes foi o *EViews*®.

O modelo estatístico de inicial A1 é apresentado pela Equação 3. Essa equação representa a relação ideal entre as variáveis, considerando os parâmetros verdadeiros  $\beta$ , que não são conhecidos.

Equação 3: Modelo inicial de regressão linear múltipla – A1.

$$TAN = \beta_1 + \beta_2 \cdot UAN + \beta_3 \cdot EPAN + \beta_4 \cdot PAN + \beta_5 \cdot VAN + U_i$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

A Equação 4 apresenta o modelo estimado, que representa a relação prática com base nos dados disponíveis, usando coeficientes estimados  $b$  que aproximam os valores  $\beta$ .

Equação 4: Forma estimada do modelo de regressão linear múltipla, com base nos dados reais coletados.

$$\widehat{TAN} = b_1 + b_2 \cdot UAN + b_3 \cdot EPAN + b_4 \cdot PAN + b_5 \cdot VAN$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Os resultados da análise estatística inicial estão apresentados na Tabela 2<sup>16</sup>, que demonstra a estimativa dos coeficientes, erros padrão, estatísticas  $t$  e valores de probabilidade (Prob) para cada variável do modelo. Tais resultados foram fundamentais para identificar quais variáveis independentes apresentaram influência significativa sobre a variável dependente TAN ao nível de significância  $\alpha = 0.05$ .

Tabela 2: Verificação de variáveis significativas para o modelo da Área 1.

|                                               |             |                              |             |                 |
|-----------------------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|-----------------|
| Variável dependente: TAN                      |             |                              |             |                 |
| Método: Mínimos quadrados                     |             |                              |             |                 |
| Data: 01/10/24 Hora: 15:20                    |             |                              |             |                 |
| Amostra: 1 60                                 |             |                              |             |                 |
| Observações: 60                               |             |                              |             |                 |
| TAN=C(1)+C(2)*UAN+C(3)*EPAN+C(4)*PAN+C(5)*VAN |             |                              |             |                 |
|                                               | Coeficiente | Erro padrão                  | t-Statistic | Prob            |
| C(1)                                          | 21.32879    | 0.558752                     | 38.17218    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                          | 1.700826    | 0.737686                     | 2.305622    | <b>0.0249</b>   |
| C(3)                                          | 2.120458    | 0.732154                     | 2.896191    | <b>0.0054</b>   |
| C(4)                                          | -2.431819   | 0.662454                     | -3.670927   | <b>0.0005</b>   |
| C(5)                                          | -0.057438   | 0.603050                     | -0.095246   | <b>0.9245</b>   |
| R-quadrado                                    | 0.452834    | Média da var. dependente     |             | 20.48150        |
| R-quadrado ajustado                           | 0.413040    | Desv. pad. - Var. dependente |             | 2.273553        |
| Erro padrão da regressão                      | 1.741845    | Critério de info. Akaike     |             | 4.027422        |
| Soma – quadrados dos resíduos                 | 166.8713    | Critério de Schwarz          |             | 4.201950        |
| Log-verossimilhança                           | -115.8227   | F-statistic                  |             | 11.37947        |
| Estatística Durbin-Watson                     | 1.669338    | Prob (F-statistic)           |             | <b>0.000001</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews*® (2024).

<sup>16</sup> As tabelas apresentadas nesta seção de resultados foram traduzidas, para melhor compreensão da leitura. As que foram geradas originalmente pelo *Eviews*® estão disponíveis no Apêndice “F”.

A estatística  $F$ , com  $\text{Prob}(F\text{-statistic}) = 0.000001 < 0.05$ , indica que pelo menos uma das variáveis independentes (UAN, EPAN, PAN ou VAN) é estatisticamente significativa para explicar as variações na temperatura média mensal (TAN).

Logo, por meio da análise inicial, verificou-se que UAN, EPAN e PAN possuem  $\text{Prob} < 0.05$ , confirmando que são significativas para explicar TAN. A variável VAN, entretanto, apresentou  $\text{Prob} = 0.9245 > 0.05$ , indicando que não possui impacto estatisticamente significativo sobre TAN.

Assim sendo, foi necessária a reformulação da equação. Com base nos resultados iniciais, a variável VAN foi excluída do modelo, pois sua influência não foi considerada significativa. Portanto, realizou-se novamente a estimativa dos coeficientes, por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa dos coeficientes e obtenção de  $R^2$  para o modelo de A1.

| Variável dependente: TAN             |             |                              |             |                 |
|--------------------------------------|-------------|------------------------------|-------------|-----------------|
| Método: Mínimos quadrados            |             |                              |             |                 |
| Data: 01/10/24 Hora: 15:33           |             |                              |             |                 |
| Amostra: 1 60                        |             |                              |             |                 |
| Observações: 60                      |             |                              |             |                 |
| TAN=C(1)+C(2)*UAN+C(3)*EPAN+C(4)*PAN |             |                              |             |                 |
|                                      | Coeficiente | Erro padrão                  | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                 | 21.35408    | 0.487273                     | 43.82366    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                 | 1.710195    | 0.724601                     | 2.360188    | <b>0.0218</b>   |
| C(3)                                 | 2.141849    | 0.690662                     | 3.101153    | <b>0.0030</b>   |
| C(4)                                 | -2.433816   | 0.656237                     | -3.708742   | <b>0.0005</b>   |
| R-quadrado                           | 0.452743    | Média da var. dependente     |             | 20.48150        |
| R-quadrado ajustado                  | 0.423426    | Desv. Pad. - Var. dependente |             | 2.273553        |
| Erro padrão da regressão             | 1.726365    | Critério de info. Akaike     |             | 3.994253        |
| Soma – quadrados dos resíduos        | 166.8988    | Schwarz criterion            |             | 4.133876        |
| Log-verossimilhança                  | -115.8276   | F-statistic                  |             | 15.44287        |
| Estatística Durbin-Watson            | 1.673561    | Prob(F-statistic)            |             | <b>0.000000</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software EViews® (2024).

A análise da estatística  $F$  ( $\text{Prob}(F\text{-statistic}) = 0.000000 < 0.05$ ) confirmou que, no conjunto, as variáveis independentes têm impacto significativo sobre TAN. A análise das estatísticas  $t$  para os coeficientes individuais demonstrou que todas as variáveis restantes (UAN, EPAN e PAN) possuem  $\text{Prob} < 0.05$ , validando sua inclusão no modelo final.

Sendo assim, com base nos coeficientes obtidos, apresenta-se a nova equação resultante (Equação 5).

Equação 5: Nova equação de regressão estimada para A1.

$$\widehat{TAN} = 21.35 + 1.71 \cdot UAN + 2.14 \cdot EPAN - 2.43 \cdot PAN$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

A equação obtida demonstrou que existe uma relação direta entre UAN e TAN, uma relação direta entre EPAN e TAN, e uma relação inversa entre PAN e TAN, o que está em conformidade com as expectativas. O coeficiente de determinação  $R^2 = 0,452743$  indicou que 45% da variabilidade de TAN é explicada pela influência exercida por UAN, EPAN e PAN.

Na sequência, é apresentado como o modelo de RLM em A1 cumpriu os pressupostos definidos anteriormente, os quais baseiam-se em Myers *et al.* (2016).

- Ausência de multicolinearidade

Um dos pressupostos fundamentais para a validade do modelo de regressão linear múltipla é a ausência de uma relação linear exata entre os valores amostrais de duas ou mais variáveis independentes. Esse pressuposto é conhecido como não multicolinearidade.

A Tabela 4 demonstra que não existe uma relação linear forte entre as variáveis independentes, uma vez que todos os coeficientes de correlação estão abaixo de  $\pm 0,7$ . Portanto, conclui-se que o modelo não apresenta problemas de multicolinearidade.

Tabela 4: Matriz de correlação entre as variáveis independentes em A1/ AN.

|      | UAN             | EPAN            | PAN             |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|
| UAN  | 1               | -0.674045981598 | -0.257835842755 |
| EPAN | -0.674045981598 | 1               | 0.544499385643  |
| PAN  | -0.257835842755 | 0.544499385643  | 1               |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

- Valor esperado dos resíduos igual a zero

Outro pressuposto importante é que o valor esperado ou médio dos resíduos ( $U_i$ ) seja zero para todos os  $i=1, \dots, n$ . Em termos práticos, isso significa que os resíduos não apresentam viés sistemático.

Ao avaliar os resíduos no modelo  $\widehat{TAN} - TAN$  ou  $TAN - \widehat{TAN}$ , ou seja, a diferença entre os valores previstos e os valores reais, verifica-se que  $E(u_i)$  é muito próximo de zero ou igual a zero para todos os casos analisados, atendendo a este pressuposto, como demonstra a Equação 6 com um exemplo de janeiro/2023.

Equação 6: Exemplo de cálculo de resíduos para janeiro/2023 – A1.

$$TAN = 22.30^{\circ}C$$

$$\widehat{TAN} = 21.35 + 1.71 \cdot (-0.62) + 2.14 \cdot 0.91 - 2.43 \cdot 0.23$$

$$\widehat{TAN} = 21.35 - 1.06 + 1.95 + 0.56$$

$$\widehat{TAN} = 22.8^{\circ}C$$

$$E(u_i) = 0.2$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

- Homoscedasticidade

Para que o modelo de RLM seja válido, é necessário que os resíduos apresentem homoscedasticidade, ou seja, a variância dos termos de erro ( $U_i$ ) deve ser constante para todos os valores de  $i$ . Este pressuposto é representado por  $Var(U_i) = \sigma^2$ , em que  $\sigma^2$  é uma constante.

Tal verificação foi realizada por meio do Teste de *White*, o qual apresenta-se na Tabela 5.

Tabela 5: Teste de *White* para verificação da homogeneidade de variância para o modelo em A1/ AN.

| Teste de Heterocedasticidade de White |          |               |          |
|---------------------------------------|----------|---------------|----------|
| F-statistic                           | 1.097468 | Probabilidade | 0.376175 |
| Obs*R-quadrado                        | 6.630690 | Probabilidade | 0.356354 |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews*® (2024).

O teste de *White* possui como hipótese nula a homoscedasticidade (ou seja, a variância dos resíduos é constante). No resultado obtido, a probabilidade associada à estatística F (Probabilidade = 0,376175) é maior que o nível de significância definido ( $\alpha = 0,05$ ). Esse resultado indica que não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Dessa forma, conclui-se que não há heterocedasticidade no modelo, confirmando que os resíduos apresentam homogeneidade de variância e que este pressuposto é atendido.

- Ausência de autocorrelação dos resíduos

Um dos pressupostos do modelo de regressão linear múltipla é que os resíduos ( $U_i$ ) sejam não autocorrelacionados, ou seja, a covariância entre os erros de diferentes observações deve ser zero ( $Cov(U_i, U_j) = 0$  para  $i \neq j$ ). Isso implica que o valor do erro de uma observação não é influenciado pelo erro de outra.

Para avaliar a ausência de autocorrelação nos resíduos do modelo estimado para a Área 1 - Zona Norte (Bairro Santana), foi aplicado o teste de *Ljung-Box* e analisado o correlograma.

Os resultados indicaram que os valores de probabilidade (Prob) associados ao teste *Ljung-Box* são maiores que o nível de significância estabelecido ( $\alpha = 0,05$ ). Além disso, a análise do correlograma confirma que não há padrões de autocorrelação significativos nos resíduos, conforme é exposto na Figura 80.

Figura 80: Teste de *Ljung-Box* e correlograma para verificar a não autocorrelação no modelo de A1.

Date: 10/01/24 Time: 16:21

Sample: 1 60

Included observations: 60

| Autocorrelation                                                                     | Partial Correlation                                                                 | AC | PAC    | Q-Stat | Prob   |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|--------|--------|--------|-------|
|  |  | 1  | 0.122  | 0.122  | 0.9369 | 0.333 |
|  |  | 2  | -0.060 | -0.076 | 1.1653 | 0.558 |
|  |  | 3  | 0.037  | 0.055  | 1.2552 | 0.740 |
|  |  | 4  | -0.143 | -0.164 | 2.6204 | 0.623 |
|  |  | 5  | -0.009 | 0.042  | 2.6264 | 0.757 |
|  |  | 6  | 0.097  | 0.069  | 3.2704 | 0.774 |
|  |  | 7  | -0.233 | -0.252 | 7.0952 | 0.419 |
|  |  | 8  | -0.111 | -0.054 | 7.9693 | 0.436 |
|  |  | 9  | -0.066 | -0.092 | 8.2862 | 0.506 |
|  |  | 10 | -0.007 | 0.057  | 8.2903 | 0.600 |
|  |  | 11 | 0.233  | 0.174  | 12.407 | 0.334 |
|  |  | 12 | 0.169  | 0.102  | 14.626 | 0.263 |
|  |  | 13 | -0.021 | -0.003 | 14.661 | 0.329 |
|  |  | 14 | 0.033  | -0.002 | 14.748 | 0.396 |
|  |  | 15 | -0.119 | -0.131 | 15.925 | 0.387 |
|  |  | 16 | -0.057 | -0.039 | 16.195 | 0.439 |
|  |  | 17 | 0.081  | 0.033  | 16.762 | 0.471 |
|  |  | 18 | -0.024 | 0.043  | 16.814 | 0.536 |
|  |  | 19 | -0.197 | -0.136 | 20.318 | 0.376 |
|  |  | 20 | -0.195 | -0.167 | 23.841 | 0.249 |
|  |  | 21 | -0.019 | 0.065  | 23.875 | 0.299 |
|  |  | 22 | 0.062  | -0.030 | 24.250 | 0.334 |
|  |  | 23 | 0.044  | -0.073 | 24.443 | 0.380 |
|  |  | 24 | 0.147  | 0.131  | 26.669 | 0.320 |
|  |  | 25 | 0.025  | 0.035  | 26.737 | 0.369 |
|  |  | 26 | -0.165 | -0.184 | 29.718 | 0.279 |
|  |  | 27 | 0.146  | 0.152  | 32.134 | 0.227 |
|  |  | 28 | 0.087  | 0.019  | 33.021 | 0.235 |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Com base nos resultados do teste e na inspeção do correlograma, conclui-se que os resíduos não estão autocorrelacionados, o que demonstra que este pressuposto é atendido no modelo.

- Normalidade dos resíduos

Outro pressuposto essencial do modelo de regressão linear múltipla é que os erros ( $U_i$ ) sejam distribuídos de forma normal, ou seja,  $U_i \sim N(0, \sigma^2)$ . Isso significa que os resíduos devem apresentar uma distribuição simétrica em torno da média zero e com variância constante.

Para avaliar a normalidade dos resíduos no modelo estimado para a Área 1 - Zona Norte (Bairro Santana), foi aplicado o teste de *Jarque-Bera*. O resultado do teste apresentou um valor de probabilidade (Probability = 0,489835), que é maior que o nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), conforme demonstra a Figura 81.

Figura 81: Teste de *Jarque-Bera* para avaliar a normalidade dos resíduos em A1.

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Series: Residuals |           |
| Sample 1 60       |           |
| Observations 60   |           |
| Mean              | 2.32E-15  |
| Median            | -0.022038 |
| Maximum           | 3.652771  |
| Minimum           | -3.032661 |
| Std. Dev.         | 1.681902  |
| Skewness          | 0.085677  |
| Kurtosis          | 2.264074  |
| Jarque-Bera       | 1.427373  |
| Probability       | 0.489835  |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Portanto, dado o cumprimento dos pressupostos estabelecidos, o modelo estatístico de RLM demonstrou-se adequado em A1.

### 3.4.2 Área 2/ Área Sudeste (A2/ ASE)

Da mesma forma, o modelo estatístico de regressão linear múltipla, em A2 (ASE), teve como objetivo analisar as relações entre a variável dependente (TASE) e as variáveis independentes (UASE, EPASE, PASE e VASE), dentro do período estudado.

O modelo estatístico inicial de A2, bem como o modelo estimado, são representados pela Equação 7. A equação inicial representa a relação ideal entre as variáveis, enquanto a equação do modelo estimado, representa a relação prática com base nos dados disponíveis.

Equação 7: Equação inicial e equação do modelo estimado em A2.

$$TASE = \beta_1 + \beta_2 \cdot UASE + \beta_3 \cdot EPASE + \beta_4 \cdot PASE + \beta_5 \cdot VASE + U_i$$

$$\widehat{TASE} = b_1 + b_2 \cdot UASE + b_3 \cdot EPASE + b_4 \cdot PASE + b_5 \cdot VASE$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise inicial do modelo.

Tabela 6: Verificação das variáveis significativas para o modelo de A2 - Sudeste.

| Variável dependente: TASE                          |             |                            |             |                 |
|----------------------------------------------------|-------------|----------------------------|-------------|-----------------|
| Método: Mínimos quadrados                          |             |                            |             |                 |
| Data: 01/10/24 Hora: 16:59                         |             |                            |             |                 |
| Amostra: 1 60                                      |             |                            |             |                 |
| Observações: 60                                    |             |                            |             |                 |
| TASE=C(1)+C(2)*UASE+C(3)*EPASE+C(4)*PASE+C(5)*VASE |             |                            |             |                 |
|                                                    | Coeficiente | Erro padrão                | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                               | 21.22009    | 0.649205                   | 32.68626    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                               | 1.335354    | 0.984010                   | 1.357053    | <b>0.1803</b>   |
| C(3)                                               | 1.601339    | 0.762737                   | 2.099464    | <b>0.0404</b>   |
| C(4)                                               | -2.789826   | 0.582468                   | -4.789662   | <b>0.0000</b>   |
| C(5)                                               | 0.079454    | 0.573163                   | 0.138625    | <b>0.8903</b>   |
| R-quadrado                                         | 0.481428    | Média da var. dependente   |             | 19.72883        |
| R-quadrado ajustado                                | 0.443714    | Desv. Pad.-Var. dependente |             | 2.421231        |
| Erro padrão da regressão                           | 1.805865    | Critério de info. Akaike   |             | 4.099612        |
| Soma – quadrados dos resíduos                      | 179.3633    | Critério de Schwarz        |             | 4.274141        |
| Log-verossimilhança                                | -117.9884   | F-statistic                |             | 12.76513        |
| Estatística Durbin-Watson                          | 1.665878    | Prob(F-statistic)          |             | <b>0.000000</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews®* (2024).

A análise inicial permitiu identificar quais variáveis independentes demonstraram influência significativa sobre a variável dependente TASE, ao nível de significância  $\alpha = 0.05$ . A estatística  $F$ , com  $\text{Prob}(F\text{-statistic}) = 0.000001 < 0.05$ , indica que pelo menos uma das variáveis independentes influencia a temperatura média mensal (TASE).

Logo, verificou-se que EPASE e PASE possuem  $\text{Prob} < 0,05$ , confirmando que são significativas para explicar TASE. As variáveis UASE ( $\text{Prob} = 0,1803 > 0,05$ ) e VASE ( $\text{Prob} = 0,8903 > 0,05$ ), entretanto, não foram consideradas estatisticamente significativas.

Por isso, com base nos resultados iniciais, as variáveis UASE e VASE foram excluídas do modelo, exigindo a reformulação da equação. Assim, realizou-se novamente a estimativa dos coeficientes, por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários, conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Estimativa dos coeficientes e obtenção de  $R^2$  para o modelo de A2.

| Variável dependente: TASE      |                 |                            |             |                 |
|--------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------------|
| Método: Mínimos quadrados      |                 |                            |             |                 |
| Data: 01/10/24 Hora: 17:11     |                 |                            |             |                 |
| Amostra: 1 60                  |                 |                            |             |                 |
| Observações: 60                |                 |                            |             |                 |
| TASE=C(1)+C(2)*EPASE+C(3)*PASE |                 |                            |             |                 |
|                                | Coefficient     | Std. Error                 | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                           | 20.58471        | 0.450003                   | 45.74348    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                           | 1.231372        | 0.640276                   | 1.923189    | <b>0.0595</b>   |
| C(3)                           | -2.583641       | 0.561206                   | -4.603727   | <b>0.0000</b>   |
| R-quadrado                     | <b>0.463869</b> | Média da var. dependente   |             | 19.72883        |
| R-quadrado ajustado            | 0.445057        | Desv. Pad.-Var. dependente |             | 2.421231        |
| Erro padrão da regressão       | 1.803684        | Critério de info. Akaike   |             | 4.066246        |
| Soma – quadrados dos resíduos  | 185.4367        | Critério de Schwarz        |             | 4.170963        |
| Log-verossimilhança            | -118.9874       | F-statistic                |             | 24.65861        |
| Estatística Durbin-Watson      | 1.672486        | Prob(F-statistic)          |             | <b>0.000000</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews®* (2024).

Novamente, a estatística  $F$ , com  $\text{Prob}(F\text{-statistic}) = 0.000001 < 0.05$ , indica que ao menos uma das variáveis independentes influencia TASE. Logo, as variáveis independentes possuem  $\text{Prob} < 0.05$ , ainda que EPASE esteja no limite do valor aceitável (0.0595), sendo, portanto, consideradas estatisticamente significativas sobre a variável dependente.

Com isso, apresenta-se a nova equação de regressão obtida a partir da análise inicial, conforme Equação 8.

Equação 8: Nova equação de regressão estimada para A2.

$$\widehat{TASE} = 20.58 + 1.23 \cdot EPASE - 2.58 \cdot PASE$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

A equação obtida evidencia uma relação direta entre a Emissão de Poluentes (EPASE) e a Temperatura Média Mensal (TASE), bem como uma relação inversa entre as Precipitações Médias Mensais (PASE) e a TASE. Tais resultados estão alinhados com as expectativas teóricas, indicando que níveis mais altos de emissões contribuem para o aumento da temperatura, enquanto maior precipitação tende a reduzir a temperatura.

Além disso, o coeficiente de determinação  $R^2=0,463869$  demonstra que 46% da variabilidade da TASE pode ser explicada pela influência combinada de EPASE e PASE. Esse valor indica uma boa capacidade explicativa do modelo, considerando os fatores analisados.

A seguir, apresenta-se o cumprimento de pressupostos de RLM em A2, que se fundamentam em Myers *et al.* (2016).

- Ausência de multicolinearidade

A não multicolinearidade é a ausência de uma relação linear exata entre os valores amostrais de duas ou mais variáveis independentes. Conforme a Tabela 8, não existe uma relação linear forte entre as variáveis independentes, uma vez que todos os coeficientes de correlação estão abaixo de  $\pm 0,7$ . Logo, conclui-se que o modelo não apresenta problemas de multicolinearidade.

Tabela 8: Matriz de correlação entre as variáveis independentes para o modelo em A2 - Zona Sudeste.

|       | EPASE           | PASE            |
|-------|-----------------|-----------------|
| EPASE | 1               | -0.546748969269 |
| PASE  | -0.546748969269 | 1               |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

- Valor esperado dos resíduos igual a zero

Avaliando-se os resíduos no modelo  $\widehat{TASE} - TASE$  ou  $TASE - \widehat{TASE}$ , verificou-se que  $E(u_i)$  é muito próximo de zero ou igual a zero para todos os casos analisados, atendendo a este pressuposto, conforme a Equação 9, com um exemplo de janeiro/2023.

Equação 9: Exemplo de cálculo de resíduos para janeiro/2023 – A2.

$$TASE=21.88^{\circ}C$$

$$\widehat{TASE} = 20.58 + 1.23 \cdot 0.86 - 2.58 \cdot (-0.02)$$

$$\widehat{TASE} = 20.58 + 1.06 + 0.05$$

$$\widehat{TASE} = 21.69^{\circ}C$$

$$E(u_i) = 0.19$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

- Homoscedasticidade

De modo a se garantir a validade do modelo de RLM, é necessário que os resíduos apresentem homoscedasticidade — isto é, a variância dos termos de erro ( $U_i$ ) deve permanecer constante ao longo de todas as observações. A verificação de homoscedasticidade do modelo foi realizada por meio do Teste de *White*, o qual apresenta-se na Tabela 9.

Tabela 9: Verificação de homoscedasticidade do modelo em A2 - Teste de *White*.

| Teste de Heterocedasticidade de White |          |               |          |
|---------------------------------------|----------|---------------|----------|
| F-statistic                           | 0.586114 | Probabilidade | 0.674025 |
| Obs*R-quadrado                        | 2.453026 | Probabilidade | 0.653067 |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews*® (2024).

Os resultados apresentaram um valor de Probabilidade (Probability = 0,674025), que é superior ao nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ). O resultado indica a ausência de heterocedasticidade, ou seja, a variância dos erros é constante ao longo das observações. Assim, pode-se concluir que o modelo satisfaz o pressuposto de homogeneidade de variância, contribuindo para a validade das estimativas e conclusões obtidas.

- Ausência de autocorrelação dos resíduos

Para verificar a ausência de autocorrelação nos resíduos do modelo estimado para a Área 2 - Zona Sudeste (Água Funda/ Jabaquara), foi realizada a análise por meio do Teste de *Ljung-Box* e do correlograma.

Os resultados obtidos demonstraram valores de probabilidade (Prob) superiores ao nível de significância estabelecido ( $\alpha = 0,05$ ). Tais resultados indicam que não há autocorrelação entre os resíduos do modelo, o que significa que o valor do erro em uma observação não é influenciado pelo valor do erro em outra observação. Ademais, a análise do correlograma confirma que não há padrões de autocorrelação significativos nos resíduos, conforme é exposto na Figura 82. Logo, conclui-se que o modelo satisfaz este pressuposto.

Figura 82: Teste de *Ljung-Box* e correlograma para verificar a não autocorrelação no modelo de A2.

Date: 10/01/24 Time: 19:40  
Sample: 1 60  
Included observations: 60

| Autocorrelation                                                                     | Partial Correlation                                                                 | AC        | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------|--------|-------|
|  |  | 1 0.095   | 0.095  | 0.5685 | 0.451 |
|  |  | 2 0.033   | 0.024  | 0.6379 | 0.727 |
|  |  | 3 0.168   | 0.165  | 2.4870 | 0.478 |
|  |  | 4 -0.155  | -0.193 | 4.0776 | 0.396 |
|  |  | 5 -0.111  | -0.088 | 4.9103 | 0.427 |
|  |  | 6 -0.032  | -0.036 | 4.9817 | 0.546 |
|  |  | 7 -0.321  | -0.272 | 12.233 | 0.093 |
|  |  | 8 -0.031  | 0.039  | 12.301 | 0.138 |
|  |  | 9 -0.046  | -0.069 | 12.454 | 0.189 |
|  |  | 10 -0.066 | 0.025  | 12.781 | 0.236 |
|  |  | 11 0.291  | 0.244  | 19.201 | 0.058 |
|  |  | 12 0.111  | 0.025  | 20.156 | 0.064 |
|  |  | 13 0.036  | 0.015  | 20.261 | 0.089 |
|  |  | 14 0.078  | -0.128 | 20.751 | 0.108 |
|  |  | 15 -0.039 | -0.015 | 20.878 | 0.141 |
|  |  | 16 -0.081 | -0.067 | 21.439 | 0.162 |
|  |  | 17 0.018  | 0.043  | 21.466 | 0.206 |
|  |  | 18 -0.191 | -0.049 | 24.685 | 0.134 |
|  |  | 19 -0.150 | -0.103 | 26.735 | 0.111 |
|  |  | 20 -0.073 | -0.036 | 27.233 | 0.129 |
|  |  | 21 0.030  | 0.103  | 27.320 | 0.161 |
|  |  | 22 0.020  | -0.056 | 27.359 | 0.198 |
|  |  | 23 0.030  | -0.073 | 27.451 | 0.237 |
|  |  | 24 0.128  | 0.097  | 29.141 | 0.215 |
|  |  | 25 -0.028 | -0.135 | 29.226 | 0.255 |
|  |  | 26 -0.052 | -0.086 | 29.527 | 0.288 |
|  |  | 27 0.111  | 0.113  | 30.906 | 0.275 |
|  |  | 28 0.040  | 0.083  | 31.093 | 0.313 |

- Normalidade dos resíduos

Outro pressuposto essencial da RLM é a normalidade dos erros, isto é,  $U_i \sim N(0, \sigma^2)$ , indicando distribuição simétrica em torno de zero e variância constante. Para verificar se os erros estão distribuídos normalmente no modelo da Área 2 – Zona Sudeste (Água Funda/Jabaquara), foi realizado o teste de *Jarque-Bera*.

O resultado mostrou um valor de Probabilidade (Probability = 0,777063), superior ao nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ). Tal resultado indica que os resíduos seguem uma distribuição normal, o que confirma que o modelo atende ao pressuposto de normalidade dos erros, conforme a Figura 83.

Figura 83: Teste de *Jarque-Bera* para verificação de normalidade de erros em A2.

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Series: Residuals |           |
| Sample 1 60       |           |
| Observations 60   |           |
| Mean              | 1.03E-14  |
| Median            | -0.064478 |
| Maximum           | 3.606520  |
| Minimum           | -4.007502 |
| Std. Dev.         | 1.772849  |
| Skewness          | 0.070985  |
| Kurtosis          | 2.573818  |
| Jarque-Bera       | 0.504468  |
| Probability       | 0.777063  |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

Exposto isso, dado o cumprimento dos pressupostos estabelecidos, o modelo estatístico de RLM demonstrou-se adequado em A2.

### 3.4.3 Área 3/ Área Sul (A3/ AS)

O modelo estatístico de regressão linear múltipla em A3 (AS) foi obtido considerando a Temperatura Média Mensal (TAS) como variável dependente e a Umidade Média Mensal (UAS), Emissão de Contaminantes (EPAS), Precipitação Média Mensal (PAS) e Velocidade Média do Vento Mensal (VAS) como variáveis independentes.

A equação inicial, que descreve a relação teórica ideal entre as variáveis, e a equação estimada, que reflete a relação prática fundamentada nos dados observados, são apresentadas a seguir, em Equação 10.

Equação 10: Equação inicial e equação do modelo estimado - A3.

$$TAS = \beta_1 + \beta_2 \cdot UAS + \beta_3 \cdot EPAS + \beta_4 \cdot PAS + \beta_5 \cdot VAS + U_i$$

$$\widehat{TAS} = b_1 + b_2 \cdot UAS + b_3 \cdot EPAS + b_4 \cdot PAS + b_5 \cdot VAS$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

Na sequência, realizou-se a verificação das variáveis significativas para o modelo em A3, conforme apresentado na Tabela 10, com o objetivo de se identificar quais variáveis independentes apresentaram influência significativa sobre a variável dependente TAS ao nível de significância  $\alpha = 0.05$ .

Tabela 10: Verificação das variáveis estatisticamente significativas - A3.

| Variável dependente: TAS                      |             |                            |             |                 |
|-----------------------------------------------|-------------|----------------------------|-------------|-----------------|
| Método: Mínimos quadrados                     |             |                            |             |                 |
| Data: 01/10/24 Hora: 19:53                    |             |                            |             |                 |
| Amostra: 1 60                                 |             |                            |             |                 |
| Observações: 60                               |             |                            |             |                 |
| TAS=C(1)+C(2)*UAS+C(3)*EPAS+C(4)*PAS+C(5)*VAS |             |                            |             |                 |
|                                               | Coefficient | Std. Error                 | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                          | 20.33467    | 0.683346                   | 29.75751    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                          | -0.892903   | 0.911271                   | -0.979844   | <b>0.3315</b>   |
| C(3)                                          | 0.763218    | 0.679392                   | 1.123384    | <b>0.2662</b>   |
| C(4)                                          | -3.024277   | 0.646538                   | -4.677645   | <b>0.0000</b>   |
| C(5)                                          | 0.247779    | 0.715844                   | 0.346135    | <b>0.7306</b>   |
| R-quadrado                                    | 0.493202    | Média da var. dependente   |             | 19.48167        |
| R-quadrado ajustado                           | 0.456344    | Desv. Pad.-Var. dependente |             | 2.389427        |
| Erro padrão da regressão                      | 1.761797    | Critério de info. Akaike   |             | 4.050200        |
| Soma – quadrados dos resíduos                 | 170.7160    | Critério de Schwarz        |             | 4.224729        |
| Log-verossimilhança                           | -116.5060   | F-statistic                |             | 13.38113        |
| Estatística Durbin-Watson                     | 1.549935    | Prob(F-statistic)          |             | <b>0.000000</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews®* (2024).

A prova F apresentou um valor de Prob (F-statistic=0,000000), menor que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ), indicando que pelo menos uma das variáveis independentes influencia significativamente a variável dependente TAS.

Contudo, ao avaliar os resultados das provas *t*, constatou-se que as variáveis UAS (Prob=0,3315), EPAS (Prob=0,2662) e VAS (Prob=0,7306) não apresentaram influência significativa sobre TAS. Dessa forma, fez-se a exclusão dessas variáveis no modelo final, mantendo apenas a que possui impacto relevante (PAS).

Assim, realizou-se uma nova estimativa por meio do método de Mínimos Quadrados Ordinários, conforme a Tabela 11.

Tabela 11: Estimativa dos coeficientes e obtenção de  $R^2$  para o modelo em A3.

| Variável dependente: TAS      |                 |                            |             |                 |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------------|
| Método: Mínimos quadrados     |                 |                            |             |                 |
| Data: 10/01/24 Hora: 19:59    |                 |                            |             |                 |
| Amostra: 1 60                 |                 |                            |             |                 |
| Observações: 60               |                 |                            |             |                 |
| TAS=C(1)+C(2)*PAS             |                 |                            |             |                 |
|                               | Coefficient     | Std. Error                 | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                          | 21.30385        | 0.347319                   | 61.33792    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                          | -3.721264       | 0.532766                   | -6.984805   | <b>0.0000</b>   |
| R-quadrado                    | <b>0.456865</b> | Média da var. dependente   |             | 19.48167        |
| R-quadrado ajustado           | 0.447501        | Desv. Pad.-Var. dependente |             | 2.389427        |
| Erro padrão da regressão      | 1.776068        | Critério de info. Akaike   |             | 4.019446        |
| Soma – quadrados dos resíduos | 182.9561        | Critério de Schwarz        |             | 4.089257        |
| Log-verossimilhança           | -118.5834       | F-statistic                |             | 48.78750        |
| Estatística Durbin-Watson     | 1.403856        | Prob(F-statistic)          |             | <b>0.000000</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews*® (2024).

A análise da prova F, com valor de Prob(F-statistic) = 0.000000 < 0.05, indica que a única variável independente no modelo, Precipitações médias mensais (PAS), é estatisticamente significativa. Como há apenas uma variável independente, a significância da prova F implica automaticamente a significância da prova *t*, cujo valor de Prob também é menor que 0.05. Isso confirma que PAS influencia significativamente a variável dependente, Temperatura média mensal (TAS).

Com isso, foi possível obter a seguinte equação de regressão estimada, conforme a Equação 11.

Equação 11: Nova equação de regressão estimada - A3.

$$\widehat{TAS} = 21.30 - 3.72 \cdot PAS$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

A nova equação revela uma relação inversa entre PAS e TAS, alinhando-se ao comportamento esperado. Além disso, o coeficiente de determinação ( $R^2=0.4569$  ou 46%) indica que 46% da variabilidade em TAS pode ser explicada pela influência de PAS.

A seguir, apresenta-se o cumprimento de pressupostos de RLM na Área 3 – Zona Sul (Interlagos/ Grajaú/ Parelheiros), que se fundamentam em Myers *et al.* (2016).

- Ausência de multicolinearidade

No caso de A3, como o modelo analisado é de regressão linear simples, o pressuposto é automaticamente atendido. Isso ocorre porque há apenas uma variável independente, eliminando qualquer possibilidade de correlação entre múltiplas variáveis explicativas.

- Valor esperado dos resíduos igual a zero

É importante que o valor esperado ou médio dos resíduos ( $U_i$ ) seja zero para todos os  $i=1, \dots, n$ . No modelo, ao calcular  $\widehat{TAS} - TAS$  ou  $TAS - \widehat{TAS}$ , os resultados se aproximam de zero ou são iguais a zero para todos os casos, indicando que este requisito é atendido, conforme exemplo da Equação 12.

Equação 12: Exemplo de cálculo - A3, janeiro/2023.

$$TAS=21.88^{\circ}C$$

$$\widehat{TAS} = 21.30 - 3.72 \cdot PAS$$

$$\widehat{TAS} = 21.65 - 0.48$$

$$\widehat{TAS} = 21.17^{\circ}C$$

$$E(u_i) = 0.01$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

- Homoscedasticidade

Para avaliar a homoscedasticidade do modelo em A3, realizou-se o Teste de *White*, conforme a Tabela 12.

Tabela 12: Teste de *White* aplicado a A3.

| Teste de Heterocedasticidade de White |          |               |          |
|---------------------------------------|----------|---------------|----------|
| F-statistic                           | 0.041787 | Probabilidade | 0.959103 |
| Obs*R-quadrado                        | 0.087844 | Probabilidade | 0.957029 |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews*® (2024).

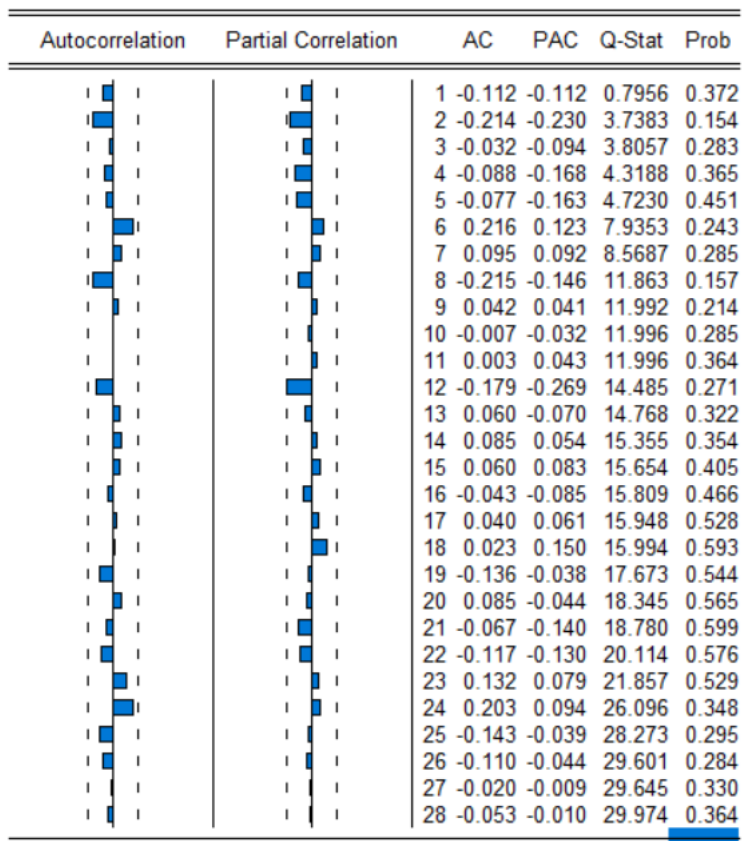
O resultado apresentou uma probabilidade (Probability=0,959103) maior que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ). Isso indica a ausência de heterocedasticidade e confirma a homogeneidade de variância, mostrando que o modelo atende a este pressuposto.

- Ausência de autocorrelação dos resíduos

Para verificar este pressuposto, foram aplicados o teste de *Ljung-Box* e o correlograma, conforme a Figura 84.

Figura 84: Teste de *Ljung-Box* e correlograma - A3.

Date: 09/15/24 Time: 16:48  
Sample: 1 60  
Included observations: 60



Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Os resultados indicaram valores de probabilidade (Prob) maiores que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ). Tais resultados, em conjunto com a análise do correlograma, confirmam que não existe autocorrelação nos resíduos. Assim, o modelo cumpre com este requisito.

- Normalidade dos resíduos e avaliação geral do modelo estatístico em A1, A2 e A3

Para este pressuposto, foi aplicado o teste de *Jarque-Bera*, conforme apresenta a Figura 85.

Figura 85: Teste de *Jarque-Bera* para o modelo em A3.

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Series: Residuals |           |
| Sample 1 60       |           |
| Observations 60   |           |
| Mean              | 5.21E-15  |
| Median            | 0.064243  |
| Maximum           | 3.288424  |
| Minimum           | -3.626835 |
| Std. Dev.         | 1.760952  |
| Skewness          | -0.236083 |
| Kurtosis          | 2.283358  |
| Jarque-Bera       | 1.841290  |
| Probability       | 0.398262  |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

O resultado demonstrou um valor de probabilidade (Prob = 0,398262) maior que o nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ), indicando que os resíduos seguem uma distribuição normal. Assim, o modelo atendeu a este pressuposto.

Embora o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido nos modelos não tenha sido elevado, tal fator não é necessariamente um indicador definitivo da qualidade de um modelo de regressão linear (Palma, 2022). Observou-se que os modelos cumpriram os pressupostos estabelecidos, capturaram padrões importantes e relevantes nos dados, além de apresentar as relações existentes entre as variáveis.

A utilidade do modelo reside em sua capacidade de identificar relações significativas, mesmo que não explique toda a variabilidade da variável dependente. Assim, um modelo com

$R^2$  baixo pode ser considerado bom, desde que forneça informações confiáveis e relevantes, e que suas limitações sejam reconhecidas no contexto geral da análise (Palma, 2022).

#### 3.4.4 Modelo unificado – A1, A2 e A3

Embora tenham sido obtidos modelos de regressão para as três áreas analisadas, com variações na influência significativa das variáveis independentes em estudo, ao calcular os valores estimados de temperatura utilizando os mesmos valores para os três modelos, observou-se que as diferenças entre as temperaturas estimadas não são significativas.

Isso possibilita a obtenção de um modelo que integre os dados das três zonas em estudo, o que é de grande relevância para a pesquisa acadêmica. Um modelo generalizado não apenas permitiria uma melhor compreensão das relações entre as variáveis, mas também ajudaria a identificar padrões comuns em diferentes contextos urbanos. Esse enfoque mais abrangente pode ser fundamental para a formulação de políticas e estratégias eficazes de gestão ambiental. Ao prever mudanças na temperatura com base em um modelo unificado, facilita-se a implementação de medidas proativas diante dos desafios climáticos, beneficiando tanto a comunidade científica quanto os tomadores de decisão.

Logo, consideraram-se os seguintes valores para obter a temperatura estimada:

- Umidade média mensal (%):  $81,82\% = -0,56$  (standardizado);
- Emissão de Poluentes  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ):  $18,54 \mu\text{g}/\text{m}^3 = -0,24$  (standardizado);
- Precipitação média mensal (mm):  $0,13 \text{ mm} = 0,59$  (standardizado);
- Velocidade média do vento mensal (m/s): não incluída, pois não influenciou significativamente em nenhuma das três áreas.

Assim, obtiveram-se as temperaturas estimadas para cada área de estudo, conforme cálculos apresentados na Equação 13.

Equação 13: Cálculos de temperaturas estimadas para A1, A2 e A3.

- Área 1\_Zona Norte – AN (Bairro Santana)

$$\widehat{TAN} = 21.35 + 1.71 \cdot UAN + 2.14 \cdot EPAN - 2.43 \cdot PAN$$

$$\widehat{TAN} = 21.35 + 1.71 \cdot (-0.56) + 2.14 \cdot (-0.24) - 2.43 \cdot 0.59$$

$$\widehat{TAN} = 21.35 - 0.9576 - 0.5136 - 1.4337$$

$$\widehat{TAN} = 18.45^{\circ}C$$

- Área 2\_Zona Sudeste – ASE (Água Funda/Jabaquara)

$$\widehat{TASE} = 20.58 + 1.23 \cdot EPASE - 2.58 \cdot PASE$$

$$\widehat{TASE} = 20.58 + 1.23 \cdot (-0.24) - 2.58 \cdot 0.59$$

$$\widehat{TASE} = 20.58 - 0.2952 - 1.5222$$

$$\widehat{TASE} = 19.76^{\circ}C$$

- Área 3\_Zona Sur – AS (Interlagos/Grajaú/Parelheiros)

$$\widehat{TAS} = 21.30 - 3.72 \cdot PAS$$

$$\widehat{TAS} = 21.30 - 3.72 \cdot 0.59$$

$$\widehat{TAS} = 21.30 - 2.1948$$

$$\widehat{TAS} = 19.11^{\circ}C$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Com isso, considerou-se para o modelo unificado:

- Variável dependente: Temperatura média mensal (°C) – T
- Variáveis independentes: Umidade média mensal (%) – U; Emissão de poluente MP<sub>2,5</sub> (µg/m³) – EP; Precipitação média mensal (mm) – PT.

Apresenta-se, a seguir, as equações do modelo estatístico unificado: a equação inicial, e a equação estimada, que reflete a relação prática fundamentada nos dados observados, conforme Equação 14. Ademais, a Tabela 13 demonstra a verificação de variáveis significativas, por meio do método de mínimos quadrados ordinários.

Equação 14: Equação inicial e equação do modelo estimado.

$$T = \beta_1 + \beta_2 \cdot U + \beta_3 \cdot EP + \beta_4 \cdot PT + U_i$$

$$\hat{T} = b_1 + b_2 \cdot U + b_3 \cdot EP + b_4 \cdot PT$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Tabela 13: Verificação das variáveis significativas - Modelo unificado para a cidade de São Paulo.

| Variável dependente: T        |                 |                            |             |                 |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|-------------|-----------------|
| Método: Mínimos quadrados     |                 |                            |             |                 |
| Data: 03/10/24 Hora: 15:12    |                 |                            |             |                 |
| Amostra: 1 180                |                 |                            |             |                 |
| Observações: 180              |                 |                            |             |                 |
| T=C(1)+C(2)*U+C(3)*EP+C(4)*PT |                 |                            |             |                 |
|                               | Coefficient     | Std. Error                 | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                          | 20.64300        | 0.414568                   | 49.79398    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                          | 1.334986        | 0.432449                   | 3.087036    | <b>0.0023</b>   |
| C(3)                          | 3.513369        | 0.437044                   | 8.038939    | <b>0.0000</b>   |
| C(4)                          | -1.746440       | 0.410471                   | -4.254723   | <b>0.0000</b>   |
| R-quadrado                    | <b>0.322628</b> | Média da var. dependente   |             | 19.89733        |
| R-quadrado ajustado           | <b>0.311081</b> | Desv. Pad.-Var. dependente |             | 2.387409        |
| Erro padrão da regressão      | 1.981576        | Critério de info. Akaike   |             | 4.227634        |
| Soma – quadrados dos resíduos | 691.0895        | Critério de Schwarz        |             | 4.298589        |
| Log-verossimilhança           | -376.4871       | F-statistic                |             | <b>27.94250</b> |
| Estatística Durbin-Watson     | 1.238479        | Prob(F-statistic)          |             | <b>0.000000</b> |

Fonte: Elaborado pela autora, tradução a partir do modelo gerado pelo software *EViews®* (2024).

A estatística F, com um valor de Prob (*F-statistic*) = 0,00000 < 0,05, indica que pelo menos uma das variáveis independentes (Umidade média mensal, Emissão de Poluentes ou Precipitação média mensal) influenciou significativamente a Temperatura média mensal. Assim, analisando-se os testes *t*, observou-se que todos os valores de probabilidade são menores que 0.05, o que confirma que as três variáveis independentes impactaram significativamente a temperatura.

Com isso, apresenta-se a equação de regressão estimada resultante, conforme a Equação 15.

Equação 15: Equação de regressão estimada - modelo unificado.

$$\hat{T} = 20.64 + 1.33 \cdot U + 3.51 \cdot EP - 1.75 \cdot PT$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

A equação obtida demonstrou a relação direta entre U e T, entre EP e T, e relação inversa entre PT e T, o que corresponde ao esperado. O coeficiente de determinação  $R^2=0,322628$  indica que 32% da variabilidade da temperatura pode ser explicada pela influência de umidade, poluentes e precipitação.

Na sequência, apresenta-se o cumprimento de pressupostos de RLM no modelo unificado de São Paulo (A1, A2 e A3), que se fundamentam em Myers *et al.* (2016).

- Ausência de multicolinearidade

A matriz de correlação entre as variáveis independentes mostra que não há relação linear forte entre elas, indicando a ausência de multicolinearidade, conforme a Tabela 14.

Tabela 14: Matriz de correlação entre as variáveis independentes para o modelo de São Paulo.

|    | U               | EP              | PT              |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|
| U  | 1               | -0.377904760314 | 0.282393674161  |
| EP | -0.377904760314 | 1               | -0.105927310163 |
| PT | 0.282393674161  | -0.105927310163 | 1               |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

- Valor esperado dos resíduos igual a zero

Ao avaliar o modelo  $\hat{T} - T$  ou  $T - \hat{T}$  obtiveram-se  $E(u_i)$  muito próximos ou iguais a zero, como demonstra a Equação 16, com um exemplo de dezembro/ 2023. Portanto, o modelo cumpre esse pressuposto.

Equação 16: Exemplo de cálculo - A3, dezembro/ 2023.

**Exemplo para dezembro/2023 (Área 3)**

$T=22.62^{\circ}\text{C}$

$$\hat{T} = 20.64 + 1.33 \cdot (-0.46) + 3.51 \cdot 0.44 - 1.75 \cdot 0.98$$

$$\hat{T} = 20.64 - 0.61 + 1.54 - 1.72$$

$$\hat{T} = 19.85^{\circ}\text{C}$$

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews®* (2024).

- Homoscedasticidade

Para avaliar a homoscedasticidade do modelo unificado, realizou-se o Teste de *White*, conforme a Tabela 15.

Tabela 15: Teste de *White* - Modelo de São Paulo.

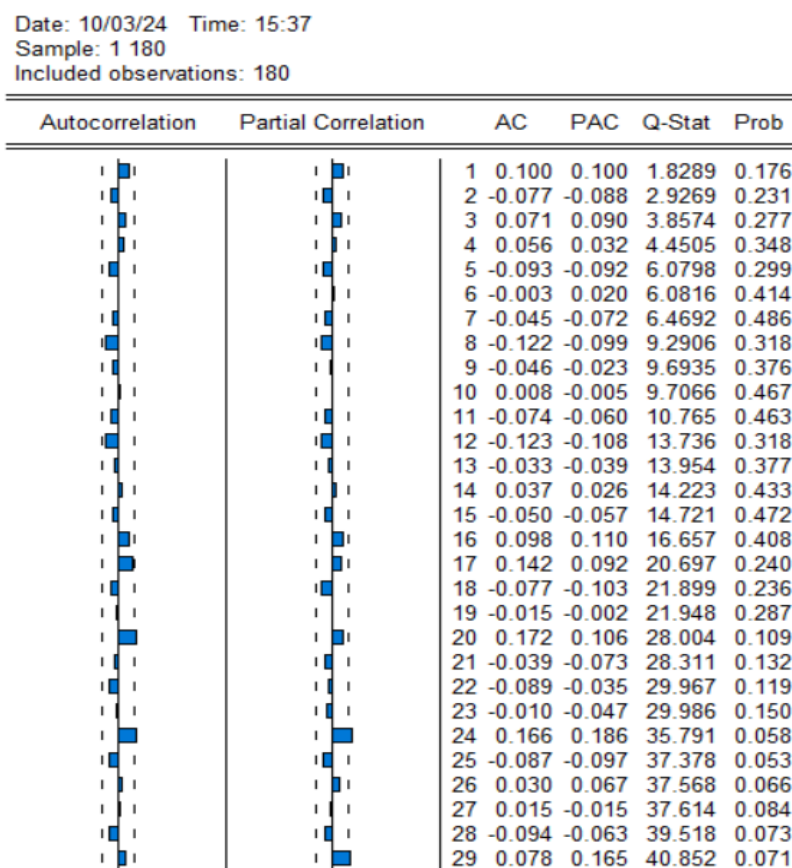
| Teste de Heterocedasticidade de White |          |               |          |
|---------------------------------------|----------|---------------|----------|
| F-statistic                           | 1.949824 | Probabilidade | 0.058097 |
| Obs*R-quadrado                        | 16.84213 | Probabilidade | 0.051246 |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

Para a verificação desse pressuposto, foi utilizado o teste de *White*, que apresentou um valor de Probabilidade = 0,058097, maior que o nível de significância de  $\alpha = 0.05$ , o que indica a não existência de heterocedasticidade, ou seja, há homogeneidade da variância, garantindo que o modelo atende a esse pressuposto.

- Ausência de autocorrelação dos resíduos

Para verificar este pressuposto, foram aplicados o teste de *Ljung-Box* e o correlograma, conforme apresentado na Figura 86. Obtiveram-se valores de Probabilidade maiores que o nível de significância de  $\alpha = 0.05$ , o que, junto ao correlograma, confirma a ausência de autocorrelação, ou seja, os resíduos não estão correlacionados entre si.

Figura 86: Teste de *Ljung-Box* e correlograma - Modelo de São Paulo.

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

- Normalidade dos resíduos e avaliação geral do modelo estatístico unificado (São Paulo)

Para este pressuposto, foi aplicado o teste de *Jarque-Bera*, conforme apresenta a Figura 87. Tal teste demonstrou o valor de Probabilidade = 0,484546, maior que o nível de significância de  $\alpha = 0.05$ , indicando que os resíduos seguem uma distribuição normal. Logo, o modelo cumpre esse pressuposto.

Figura 87: Teste de *Jarque-Bera* para o modelo unificado.

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Series: Residuals |           |
| Sample 1 180      |           |
| Observations 180  |           |
| Mean              | -4.30E-15 |
| Median            | 0.047770  |
| Maximum           | 5.606674  |
| Minimum           | -5.165340 |
| Std. Dev.         | 1.964901  |
| Skewness          | -0.019978 |
| Kurtosis          | 2.562262  |
| Jarque-Bera       | 1.449085  |
| Probability       | 0.484546  |

Fonte: Elaborado pela autora, por meio do software *EViews*® (2024).

A criação de um modelo único incluindo as três áreas estudadas permitiu uma melhor compreensão dos efeitos, possibilitando avaliar como cada uma das três variáveis influencia a variável dependente. Ao combinar todos os dados em uma única equação, reduz-se a possibilidade de vieses e melhora-se a precisão geral das previsões, resultando em uma interpretação mais confiável dos coeficientes e seus significados estatísticos.

Observou-se que o modelo único apresentou maior capacidade de generalização, tornando-o mais aplicável a novos conjuntos de dados, uma vez que abrange todas as informações relevantes em uma única estrutura. Isso também simplifica o processo de modelagem, eliminando a necessidade de ajustar múltiplos modelos separados, o que otimiza tanto a seleção de preditores quanto a avaliação do modelo. Dessa forma, a abordagem integrada não apenas melhora a robustez das análises, mas também torna o estudo mais eficiente e prático para futuras aplicações.

#### *3.4.5 Produto tecnológico gerado nesta dissertação*

Com base no modelo estatístico de RLM unificado apresentado, é possível concluir que a presente dissertação gerou um produto/ processo tecnológico, o qual é genérico e poderá ser utilizado em outras regiões ou municípios, para análises de Ilhas de Calor Urbanas.

## CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo central desenvolver um modelo estatístico de regressão linear para analisar o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas (ICU) na cidade de São Paulo entre 2019 e 2023. A abordagem combinou métodos quantitativos e qualitativos, orientados pelo *Design Science Research* (DSR), permitindo uma compreensão detalhada da relação entre urbanização, variáveis meteorológicas e impactos na saúde.

A pesquisa bibliográfica, em conjunto com o estudo bibliométrico demonstraram que as ICU são amplamente investigadas em diferentes contextos urbanos, destacando a influência da urbanização na temperatura e no conforto térmico das cidades. A literatura também reforça a importância do monitoramento espacial e temporal desses fenômenos, evidenciando a necessidade de estratégias sustentáveis para mitigar seus impactos.

A análise quali-quantitativa possibilitou uma caracterização detalhada de três áreas do município de São Paulo, evidenciando que as regiões mais urbanizadas e com menor cobertura vegetal (A1, na região Norte da cidade, e A2, na região Sudeste) apresentaram maior elevação das temperaturas e impactos na saúde, como o aumento de doenças respiratórias. Esses achados ressaltam a urgência de políticas públicas que integrem planejamento urbano e bem-estar populacional.

A construção dos mapas de cobertura e temperatura do solo entre 2019 e 2023 confirmou um aumento das temperaturas superficiais ao longo do período analisado. No entanto, a disponibilidade limitada de imagens de satélite restringiu comparações adicionais, sem comprometer a análise qualitativa dos dados.

O modelo de RLM desenvolvido incorporou variáveis meteorológicas e ambientais, demonstrando-se uma ferramenta eficaz para compreender o impacto da urbanização na temperatura. A análise estatística apontou que umidade relativa, emissão de poluentes e precipitação foram as variáveis mais significativas para a variação da temperatura do ar nas regiões estudadas.

A validação do modelo confirmou sua aplicabilidade, tanto para cada área analisada individualmente quanto para um modelo unificado. Os resultados obtidos reforçam o potencial do modelo para ser utilizado em outros contextos urbanos, auxiliando no planejamento territorial e na formulação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade.

Além disso, recomenda-se, para a plena operacionalização do modelo estatístico, a elaboração de um manual técnico-metodológico, com orientações claras para sua aplicação. Esse documento pode facilitar a replicação em diferentes municípios, tornando-o mais acessível a gestores públicos e pesquisadores.

Diante disso, destaca-se a importância de estratégias urbanas que integrem soluções sustentáveis, como a ampliação da vegetação, o sombreamento e a ventilação natural, para reduzir os impactos das ICU. Essas medidas não apenas contribuem para a regulação térmica urbana, mas também promovem melhor qualidade de vida para a população.

O estudo também reforça seu alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), ao propor um instrumento que contribui para o diagnóstico climático urbano e para a formulação de políticas públicas voltadas à resiliência e adaptação climática.

Recomenda-se, para pesquisas futuras, a aplicação do modelo desenvolvido em outros municípios e períodos temporais, incluindo novas variáveis ambientais e socioespaciais. Além disso, a integração de técnicas de sensoriamento remoto mais avançadas pode aprimorar a precisão das análises e contribuir para um planejamento urbano mais eficiente e sustentável.

## REFERÊNCIAS

A ONU e o meio ambiente. **Nações Unidas no Brasil**, 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>. Acesso em: 15 set. 2024.

AMANAMBU, Amobichukwu C. et al. Groundwater system and climate change: Present status and future considerations. **Journal of Hydrology**, v. 589, p. 125163, 2020. DOI 10.1016/j.jhydrol.2020.125163. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125163>. Acesso em: 04 out. 2024.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARDUCO, Guilherme Luis; GALVANI, Emerson. Avaliação da ocorrência do fenômeno de ilha de calor na área urbana do município de Taubaté, SP. **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 1, p. 12, 2022. DOI 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.185079. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg>. Acesso em: 08 abr. 2024.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, mês. 2016. ISSN 2179-0892. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/97783>. Acesso em: 13 mai. 2024.

BEZERRA, Luiza Marchezan; AVILA, Ana Maria Heuminski. SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF SURFACE TEMPERATURE, LAND USE AND LAND COVER CHANGE: A CASE STUDY IN CAMPINAS, BRAZIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 494-506, 2021.

CABRAL, Umberlândia. De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. **Agência de Notícias – IBGE**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 15 dez. 2023.

CAI, M. et al. Are smart cities more sustainable? An exploratory study of 103 U.S. cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 416, p. 137986, 2023.

CARLOS, Ana Fani Alessandri, A metrópole de São Paulo no contexto da urbanização contemporânea, **Estudos Avançados**, v. 23, p. 303–314, 2009. DOI 10.1590/S0103-40142009000200021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142009000200021>. Acesso em: 23 set. 2024.

CARSON, Rachel. **"Primavera silenciosa (1962)"**. São Paulo, Brasil: Edições Melhoramentos (2013).

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Nota técnica: subsídios à posição brasileira para a COP 29**. Brasília, CGEE, 2024. Disponível em: [https://www.cgEE.org.br/documents/10195/11009772/CGEE\\_AgePos\\_NotaTecnica-Cop29.pdf](https://www.cgEE.org.br/documents/10195/11009772/CGEE_AgePos_NotaTecnica-Cop29.pdf). Acesso em: 16 nov. 2024.

CHESBROUGH, H. W. The era of open innovation. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 3, p. 35–41, 2003.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Poluentes atmosféricos**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 15 out. 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **QUALAR – Qualidade do ar**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>. Acesso em: 15 out. 2024.

COMPLEMENTO GEO, **Determinação da Temperatura da Superfície Terrestre, Usando Imagens Landsat 8**, [s.l.: s.n.], 2021. 1 vídeo (6 min 30 s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZgN4wjFNVq0&t=211s>. Acesso em 14 out. 2024.

**Conferência das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC COP 28)**, disponível em: <https://www.unep.org/events/conference/conferencia-das-nacoes-unidas-sobre-mudanca-do-clima-unfccc-cop-28>. Acesso em: 15 out. 2024.

COP 28 - O que precisas saber sobre a Conferência das Partes, **UNDP**. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/sao-tome-principe/news/cop-28-o-que-precisas-saber-sobre-conferencia-das-partes>. Acesso em: 8 out. 2024.

COPERNICUS. **Second warmest November globally confirms expectation of 2024 as warmest year**. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-second-warmest-november-globally-confirms-expectation-2024-warmest-year>. Acesso em: 22 jan. 2025.

DAEHN, Cheryl; Da Costa, Ana; Pereira, Ricardo, **TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E SUSTENTABILIDADE: desafios e tendências**, in: , [s.l.: s.n.], 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/357187589\\_TRANSFORMACAO\\_DIGITAL\\_E\\_SUSTENTABILIDADE\\_desafios\\_e\\_tendencias](https://www.researchgate.net/publication/357187589_TRANSFORMACAO_DIGITAL_E_SUSTENTABILIDADE_desafios_e_tendencias). Acesso em: 11 abr. 2024.

DAROIT, Doriana; NASCIMENTO, Luis Felipe. Dimensões da inovação sob o paradigma do desenvolvimento sustentável. **28º Encontro Nacional da ANPAD, Curitiba/PR. Anais**, 2004.

DRESCH, Aline et al. **Design science research**. Springer International Publishing, 2015.

ESPÍNDOLA, Isabela Battistello; RIBEIRO, Wagner Costa. **Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros**. Cadernos Metrópole, v. 22, n. 48, p. 365-396, 2020. DOI 10.1590/2236-9996.2020-4802. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>. Acesso em 04 out. 2024.

Estação Meteorológica da USP faz 90 anos contribuindo para a pesquisa e difusão da ciência, **Jornal da USP**, disponível em: <https://jornal.usp.br/universidade/estacao-meteorologica-da-usp-faz-90-anos-contribuindo-para-a-pesquisa-e-difusao-da-ciencia/>. Acesso em: 15 out. 2024.

EIEWS. **About EViews**. Irvine: IHS Global Inc., 2024. Disponível em: [https://www.eviews.com/general/about\\_us.html](https://www.eviews.com/general/about_us.html). Acesso em: 10 abr. 2025.

FABIANO, Luciana; DE SÃO PEDRO FILHO, Flávio. Conceitos de inovação aplicáveis em projetos públicos com foco na sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 98306-98322, 2020. DOI 10.34117/bjdv6n12-356. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n12-356>. Acesso em: 08 out. 2024.

FACIN, Ana Lucia Figueiredo et al. Temas de destaque na pesquisa em transformação digital: evidências de estudo bibliométrico e análise de conteúdo. **Revista de Administração de Empresas**, v. 62, n. 06, p. e2021-0112, 2022. DOI 10.1590/S0034-759020220602. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-759020220602>. Acesso em: 10 out. 2024.

FELDMANN, Neuri Antonio et al. DIFERENÇAS MESOCLIMÁTICAS POR RELEVO EM DIFERENTES PONTOS DO MUNICÍPIO DE IPORÃ DO OESTE–SC. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, p. 299-319, 2023.

FRAGA, Antonio Armando Cordeiro; ALVES, José Luiz. Conjuntura dos indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em relação ao ODS 11-Cidades e Comunidades Sustentáveis. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 114371-114383, 2021. DOI 10.34117/bjdv7n12-289. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-289>. Acesso em: 08 out. 2024.

GOOGLE. **Google Earth** website. Disponível em: <http://earth.google.com/>, 2024.

GOMES, Felipe David Georges; FUZETO, Isabela Marega Rigolin; PRATES, Renata Pereira. Análise Multitemporal do Clima Urbano em Palmas, Estado do Tocantins–Brasil. In: **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332. 2020. p. 1-14.

GOMES, Magno Federici; PINTO, Wallace Silva. Justiça socioambiental e processo de urbanização das cidades / Socio-environmental justice and city urbanization process. **Revista de Direito da Cidade**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 582–608, 2020. DOI: 10.12957/rdc.2020.39931. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/rdc/article/view/39931>. Acesso em: 15 dez. 2023.

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis: A global perspective**. NJ: Pearson. 2010.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

História das Medições Meteorológicas em São Paulo/SP, **Brasil Abaixo de Zero**, disponível em: <https://www.abaixodezero.com/index.php?/topic/15006-hist%C3%B3ria-das-medi%C3%A7%C3%B5es-meteorol%C3%B3gicas-em-s%C3%A3o-paulosp/>. Acesso em: 15 out. 2024.

HUI, Chu Xiao et al. Greening smart cities: An investigation of the integration of urban natural resources and smart city technologies for promoting environmental sustainability. **Sustainable Cities and Society**, v. 99, p. 104985, 2023. DOI 10.1016/j.scs.2023.104985. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670723005966>. Acesso em: 13 nov. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama do município de São Paulo**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>. Acesso em: 15 out. 2024.

INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS (IAG/USP). **Dados solares**. Disponível em: [http://www.estacao.iag.usp.br/sol\\_dados.php](http://www.estacao.iag.usp.br/sol_dados.php). Acesso em: 15 out. 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Dados históricos anuais**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 8 abr. 2024.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. **Catálogo de estações automáticas**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>. Acesso em: 15 set. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/2024/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_FullVolume.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf). Acesso em: 10 jan. 2025.

KNEIPP, J.; FAVARIN, R.; MÜLLER, L.; PETERS, G.; PONTELLI, G. Práticas de inovação orientadas para a sustentabilidade: transformando modelos de negócios industriais. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. e14367, 20 maio 2024. DOI: 10.36661/2596-142X.2024v6n1.14367. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RGES/article/view/14367>. Acesso em: 15 ago. 2024.

LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, p. 741-761, 2013.

LISBÔA, E. G. et al. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Uma Análise Quantitativa utilizando o modelo de Regressão Linear Múltipla. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15179–15195, 2020.

LJUNG, Greta M.; BOX, George EP. On a measure of lack of fit in time series models. **Biometrika**, v. 65, n. 2, p. 297-303, 1978.

LOMBARDO, Magda Adelaide. 1. ed. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC Ltda. 1985. 244 p.

LOMBARDO, Magda Adelaide; FRUEHAUF, Amanda Lombardo; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Clima urbano nas metrópoles e seus impactos ambientais Urban climate in metropolises and its environmental impacts. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 434-448, 2022.

LOPES, E. da S.; NASCIMENTO, D. T. F.; HORA, K. E. R. ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR A PARTIR DE AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS URBANAS E AMBIENTAIS NO SETOR BUENO – GOIÂNIA/GO (2020). **Sociedade e Território**, [S. l.], v. 35, n. 3, 2024. DOI: 10.21680/2177-8396.2023v35n3ID33842. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/33842>. Acesso em: 14 out. 2024.

LOPES, Estéfane da Silva; HORA, Karla Emmanuela Ribeiro. Modelo de regressão para identificação de ilha de calor: um mapeamento sistemático. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 14, n. 00, p. e023026, 2023. DOI: 10.20396/parc.v14i00.8668386. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8668386>. Acesso em: 23 jan.

2025.

LÖSCH, S.; RAMBO, C. A.; FERREIRA, J. L. A pesquisa exploratória na abordagem qualitativa em educação. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, p. e023141–e023141, 2023.

MACHADO, J. R. F. Metodologias de pesquisa: um diálogo quantitativo, qualitativo e quali-quantitativo. **Devir Educação**, v. 7, n. 1, 2023.

MACIEL, Alexandra, **Linha do tempo das medidas envolvendo Mudanças Climáticas.**, disponível em: <http://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/15164-linha-do-tempo-das-medidas-envolvendo%20mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas.html>. Acesso em: 15 out. 2024.

MALTA, Fernanda. **Vulnerabilidade socioambiental: proposta metodológica e diagnóstico para o município do Rio de Janeiro**. 164 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/12283>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MANSON, Neil J. Is operations research really research?. **Orion**, v. 22, n. 2, p. 155-180, 2006.

MARTENS, M. L. et al. Um estudo de inovação sustentável em projeto de desenvolvimento de produtos. **Exacta** – EP, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 477-494, 2016. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81047687011>. Acesso em: 25 set. 2024.

MEADOWS, Donella H. **Limites do crescimento: um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade**. Perspectiva, 1972.

MENEGALDO, Vanize. **Configurações urbanas, fatores socioeconômicos e conforto térmico em São José do Rio Preto**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17001>. Acesso em: 15 dez. 2023.

**Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - Programa de Pós-Graduação – CPS**. Disponível em: <<http://www.pos.cps.sp.gov.br/stricto-sensu/mestrado-profissional-em-gestao-e-tecnologia-em-sistemas-produtivos>>. Acesso em: 15 maio 2024.

MYERS, Raymond H.; MONTGOMERY, Douglas C.; ANDERSON-COOK, Christine M. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. John Wiley & Sons, 2016.

NAIK, S. et al. Operational excellence framework for sustainability in the organisation: a design science approach. **Production Planning & Control**, v. 35, n. 11, p. 1215–1231, 2024.

NASCIMENTO, Francisco Paulo do; SOUSA, F. L. Classificação da Pesquisa. Natureza, método ou abordagem metodológica, objetivos e procedimentos. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática—como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **As Nações Unidas no Brasil**, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 out. 2024.

OECD, ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo**: Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação. 4 ed. Paris: OCDE, 2018.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. 2. ed. Londres: Editora Routledge, 2002. 464 p.

OLIVATTO, Tatiane Ferreira; LOLLO, José Augusto Di. Urban Sustainable Development Index: a geospatial approach to add Tree Cover to HDI in São Paulo City. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e63819, 2022.

OLIVEIRA, L. A. de; MANZI, M. Urbanização de assentamentos precarizados e direito à cidade. **Revista Territorialidades**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. p. 7–16, 2020. DOI: 10.17648/revistaterritorialidades-v1n1-1. Disponível em: <https://cadernosdoceas.ucsal.br/index.php/revistaterritorialidades/article/view/719>. Acesso em: 8 nov. 2024.

OLIVEIRA, Silvia Regina Siqueira Loureiro; DA SILVA, Victor Santos. Sustentabilidade ambiental e inovação tecnológica: caminhos à ecoinovação. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 14, n. 1, p. 1, 2023. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9514697>. Acesso em: 27 set. 2024.

ORGANIZATION (WMO), World Meteorological, **The Global Climate 2011-2020**. Disponível em: <https://library.wmo.int/records/item/68585-the-global-climate-2011-2020>. Acesso em: 8 abr. 2024.

ORTEGA-FERNÁNDEZ, Anabel; MARTÍN-ROJAS, Rodrigo; GARCÍA-MORALES, Víctor Jesús. Artificial intelligence in the urban environment: Smart cities as models for developing innovation and sustainability. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 7860, 2020. DOI: 10.3390/su12197860. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/7860>. Acesso em: 20 set. 2024.

PALMA, Roxanna Patricia. Análisis crítico del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), como indicador de la calidad de modelos lineales y no lineales. **Matemática**, v. 20, n. 2, 2022.

PASCOALINO, Aline; JÚNIOR, Eduardo Marandola. A vulnerabilidade na cidade e as escalas do clima urbano: o potencial das unidades climáticas para o planejamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2021. DOI 10.26848/rbgf.v14.5.p2711-2726. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p2711-2726>. Acesso em: 05 out. 2024.

PEFFERS, Ken et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

PEREIRA, A. Pesquisa Prática e Pesquisa Aplicada em Educação: Reflexões epistemometodológicas. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, v. 20, p. 10598, 2023.

PEREIRA DOS SANTOS, Arthur; HENRIQUE SIMIONATTO, Henzo; MENDONÇA FELICI, Elson. VARIAÇÃO DO ÍNDICE NDVI E DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE NA MALHA URBANA DO MUNICÍPIO DE PARACATU-MG ENTRE 1985 E 2005. In: **Colloquium Exactarum**. 2020.

PEREIRA, João Gonçalves et al. A evolução temporal da inovação aberta na visão de Chesbrough. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 7, p.

e371680-e371680, 2022. DOI: 10.47820/recima21.v3i7.1680. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1680>. Acesso em: 11 out. 2024.

PEREIRA, T. O. et al. Cidades Inteligentes: Práticas E Experiências Dos Municípios Pernambucanos. **XXV ENGEMA-Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. FEA/USP, 2023.

QIAN, Yun et al. Urbanization impact on regional climate and extreme weather: Current understanding, uncertainties, and future research directions. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 39, n. 6, p. 819-860, 2022. DOI 10.1007/s00376-021-1371-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00376-021-1371-9>. Acesso em: 05 out. 2024.

QIU, Guo Yu; YAN, Chunhua; LIU, Yuanbo. Urban evapotranspiration and its effects on water budget and energy balance: Review and perspectives. **Earth-Science Reviews**, p. 104577, 2023. DOI 10.1016/j.earscirev.2023.104577. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104577>. Acesso em 04 out. 2024.

RIBEIRO, Luiz César de Queiroz; MATELA, Igor Pouchain; DINIZ, Nelson. **O urbano como antinacão**: para entender a crise das metrópoles brasileiras. *Cadernos Metrópole*, v. 26, p. 309-331, 2023. DOI: 10.1590/2236-9996.2024-5914. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2024-5914>. Acesso em 04 out. 2024.

Rozolen, Rogério & Galvani, Emerson. (2018). **CARACTERIZAÇÃO DA DIREÇÃO E VELOCIDADE DOS VENTOS EM SÃO PAULO (SP), NO PERÍODO DE 2013 A 2018**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333118046\\_CHARACTERIZACAO\\_DA\\_DIRECAO\\_E\\_VELOCIDADE\\_DOS\\_VENTOS\\_EM\\_SAO\\_PAULO\\_SP\\_NO\\_PERIODO\\_DE\\_2013\\_A\\_2018](https://www.researchgate.net/publication/333118046_CHARACTERIZACAO_DA_DIRECAO_E_VELOCIDADE_DOS_VENTOS_EM_SAO_PAULO_SP_NO_PERIODO_DE_2013_A_2018). Acesso em: 27 jan. 2025.

SACHT, Helenice Maria; DE OLIVEIRA CARDOSO, Andréa; RORIZ, Victor Figueiredo. Influence of the surroundings areas in the microclimates of Santo André City–Brazil and Indication of Bioclimatic Strategies for Buildings. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2019. p. 06005.

SALGE, Eliana Helena Corrêa Neves; DE OLIVEIRA, Guilherme Saramago; SILVA, Lorrane Stéfane. Saberes para a construção da pesquisa documental. **Revista Prisma**, v. 2, n. 1, p. 123-139, 2021. Disponível em: <https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/view/47>. Acesso em: 13 out. 2024.

SANTOS, A. D. (2018). Seleção do método de pesquisa: guia para pós-graduando em design e áreas afins. **Curitiba: Insight**, 10-42.

SANTOS, Adrian Felipe dos et al. The impact of meteorological changes on the quality of life regarding thermal comfort in the Amazon region. **Frontiers in Climate**, v. 5, p. 1126042, 2023.

SANTOS, Fernanda Frois dos. **Ilhas de calor urbanas em Sorocaba/SP: uma abordagem com base no sistema das zonas climáticas locais**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). – Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba, 2023. Disponível em <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18782>. Acesso em: 12 nov. 2024.

SANTOS, Milton, **A urbanização brasileira**. 1. ed. São Paulo: Editora HUCITEC Ltda. 1993. 157 p.

SÃO PAULO (Município). **A Secretaria Municipal das Subprefeituras**. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/subprefeituras/w/a-secretaria-municipal-das-subprefeituras>. Acesso em: 15 out. 2024.

SÃO PAULO (Município). **Entidades públicas da RMSP**. Disponível em: <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/pdui/entidades-publicas-da-rmsp/>. Acesso em: 15 out. 2024.

SÃO PAULO (Município). **Epidemiologia e Informação**. Disponível em: [https://capital.sp.gov.br/web/saude/w/epidemiologia\\_e\\_informacao/258529](https://capital.sp.gov.br/web/saude/w/epidemiologia_e_informacao/258529). Acesso em: 15 out. 2024.

SÃO PAULO (Município). **Mapa das subprefeituras**. Disponível em: [https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/subprefeituras/Fotos%20Site/Teste\\_mapa\\_prefeituras.jpg](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/subprefeituras/Fotos%20Site/Teste_mapa_prefeituras.jpg). Acesso em: 15 out. 2024.

SÃO PAULO (Município). **Mapa interativo das subprefeituras**. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/subprefeituras/subprefeituras/mapa>. Acesso em: 15 out. 2024.

SÃO PAULO (Município). Prefeitura Municipal. **GeoSampa: Sistema de Consulta do Mapeamento Digital da Cidade de São Paulo**. Disponível em: [https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx). Acesso em: 01 out. 2024.

SCHUMPETER, Joseph Alois. **A instabilidade do Capitalismo**. Clássicos de Literatura Econômica. 3ª ed. Os clássicos da Economia, 1997.

SILVA, A. L. .; PAIVA, A. P. . Methodology of scientific research in Brazil: nature of research, methods and processes of research. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 10, p. e479111032264, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.32264. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/32264>. Acesso em: 23 set. 2024.

SIQUEIRA, I. S. et al. Análise dos condicionantes Sócio-Ambientais na incidência de dengue na cidade de Belém/PA: Aplicação do Modelo de Regressão Linear Múltipla/Analysis of Socio-Environmental conditions in the incidence of dengue in the city of Belém/PA: Application of the Multiple Linear Regression Model. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 80979–80991, 2020.

SITOMPUL, P. Analysis of Ordinary Least Square and Geographically Weighted Regression on the Human Development Index of North Sumatra 2021. **Formosa Journal of Applied Sciences**, v. 1, n. 6, p. 981–1000, 2022.

SOARES, Thiago Coelho; SOARES, João Coelho; SOARES, Sandro Vieira. Pesquisa quantitativa em turismo: os dados gerados são válidos e confiáveis? **RITUR-Revista Iberoamericana de Turismo**, v. 9, n. 1, p. 162-174, 2019.

STEWART, Iain Douglas. **Redefining the urban heat island**. 368 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - University of British Columbia, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2429/38069>. Acesso em: 15 set. 2024.

STEWART, Ian D.; OKE, Tim R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. DOI 10.1175/BAMS-D-11-00019.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.

Acesso em: 05 out. 2024.

SU, Chang; DALGREN, Johan; PALM, Björn. High-resolution mapping of the clean heat sources for district heating in Stockholm City. **Energy Conversion and Management**, v. 235, p. 113983, 2021. DOI 10.1016/j.enconman.2021.113983. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689042100159X>. Acesso em: 12 nov. 2024.

TAKEDA, H. et al. Modeling Design Process. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990.

TARIFA, José Roberto; ARMANI, Gustavo. Os climas urbanos. **Tarifa JR, Azevedo TR, organizadores. Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. São Paulo: FFLCH/USP**, p. 47-70, 2001. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Armani/publication/235954408\\_Os\\_climas\\_urbanos/links/5852e06408ae7d33e01ab259/Os-climas-urbanos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Armani/publication/235954408_Os_climas_urbanos/links/5852e06408ae7d33e01ab259/Os-climas-urbanos.pdf). Acesso em: 05 out. 2024.

TERRA URBANIZADA, **Aula 11.2 - NDVI Determinação e cálculo de áreas por classes de cobertura do solo no QGIS**, [s.l.: s.n.], 2021. 1 vídeo (8 min 9s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=t5TRjbv0PCM>. Acesso em: 14 out. 2024.

TEZZA, R.; HOCHSTEINER, P.; KIELING, A. P. ANÁLISE DE INDICADORES PARA CIDADES INTELIGENTES: uma revisão sistemática e proposta de agenda de pesquisa. **P2P E INOVAÇÃO**, v. 10, n. 2, 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 out. 2024.

VAISHNAVI, Vijay; KUECHLER, William. **Design research in information systems**. 2004.

VENTER, Zander S. et al. Environmental justice in a very green city: Spatial inequality in exposure to urban nature, air pollution and heat in Oslo, Norway. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 160193, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160193. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160193>. Acesso em: 20 ago. 2024.

VIANA, Liviany Pereira et al. Ilhas de calor na cidade de Manaus: um estudo observacional e de modelagem numerica. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 1387-1396, 2012. Disponível em: [//periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2842](http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2842). Acesso em: 12 nov. 2024.

WCED, World Comission On Environment And Development. **Our common future**. New York: Oxford University Press, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024.

WEBSIS, **Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Clima**, disponível em: <http://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas.html>. Acesso em: 18 maio 2024.

YUVARAJ, R. M. Extents of predictors for land surface temperature using multiple regression model. **The Scientific World Journal**, v. 2020, n. 1, p. 3958589, 2020.

APÊNDICE A – EXEMPLO DE PLANILHA OBTIDA PELO INMET (07 A 12/2023)

| Data       | Hora (UT) | Temp. Ins. | Temp. Max. | Temp. Min. | Um. Ins. | Um. Max. | Um. Min. | Um. % | Pto Orvalho Ins. | Pto Orvalho Max. | Pto Orvalho Min. | Pressao Ins. | Pressao Max. | Pressao Min. | Vel. Vento (m/s) | Dr. Vento (m) | Raj. Vento (m) | Radiacao (KJ/m²) | Chuva (mm) |
|------------|-----------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------------|----------------|------------------|------------|
| 01/07/2023 | 0         | 15,9       | 16         | 15,7       | 100      | 100      | 99       | 100   | 15,9             | 15,9             | 15,8             | 934,5        | 934,5        | 934,5        | 934,5            | 0,9           | 185            | 3,6              | 0          |
| 01/07/2023 | 100       | 15,9       | 16,1       | 15,8       | 100      | 100      | 100      | 100   | 15,9             | 16               | 15,8             | 934,5        | 934,5        | 934,5        | 934,4            | 0,5           | 106            | 2,6              | 0          |
| 01/07/2023 | 200       | 16         | 16,1       | 15,9       | 100      | 100      | 100      | 100   | 16               | 16,1             | 15,9             | 934,6        | 934,6        | 934,6        | 934,4            | 1,1           | 117            | 2,5              | 0          |
| 01/07/2023 | 300       | 16         | 16,1       | 16         | 100      | 100      | 100      | 100   | 16               | 16,1             | 16               | 934,4        | 934,4        | 934,4        | 934,4            | 0,8           | 100            | 2,5              | 0          |
| 01/07/2023 | 400       | 14,9       | 16,1       | 14,9       | 100      | 100      | 99       | 100   | 14,8             | 16               | 14,8             | 934,4        | 934,4        | 934,4        | 934,4            | 0,7           | 73             | 1,9              | 0          |
| 01/07/2023 | 500       | 14,3       | 14,9       | 14,3       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,3             | 14,8             | 14,3             | 933,6        | 934,1        | 933,6        | 933,6            | 0,8           | 81             | 1,7              | 0          |
| 01/07/2023 | 600       | 14,4       | 14,5       | 14,1       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,3             | 14,5             | 14,1             | 933,9        | 933,6        | 933,9        | 932,9            | 0,7           | 23             | 1,9              | 0          |
| 01/07/2023 | 700       | 14,5       | 14,5       | 14,3       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,5             | 14,5             | 14,3             | 933          | 932,3        | 933          | 932,3            | 1             | 50             | 3,3              | 0          |
| 01/07/2023 | 800       | 14,8       | 14,8       | 14,5       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,8             | 14,8             | 14,5             | 932,1        | 932,3        | 932,1        | 932,1            | 0,8           | 21             | 2,5              | 0          |
| 01/07/2023 | 900       | 15         | 15         | 14,8       | 100      | 100      | 100      | 100   | 15               | 15               | 14,8             | 932,4        | 932,5        | 932,4        | 932,1            | 0,8           | 21             | 2,5              | 0          |
| 01/07/2023 | 1000      | 14,8       | 15,1       | 14,8       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,8             | 15,1             | 14,8             | 932,6        | 932,7        | 932,6        | 932,4            | 0,9           | 343            | 2,8              | 0,8        |
| 01/07/2023 | 1100      | 15,1       | 15,1       | 14,8       | 100      | 100      | 100      | 100   | 15,1             | 15,1             | 14,8             | 932,8        | 932,8        | 932,8        | 932,6            | 1,2           | 12             | 3,4              | 0          |
| 01/07/2023 | 1200      | 16,1       | 16,5       | 15,1       | 93       | 100      | 93       | 100   | 15,1             | 15,6             | 15               | 933,1        | 933,1        | 933,1        | 932,6            | 1,2           | 328            | 4,9              | 566,2      |
| 01/07/2023 | 1300      | 18,6       | 18,6       | 16,1       | 81       | 94       | 81       | 94    | 15,3             | 16               | 14,9             | 932,9        | 932,2        | 932,9        | 932,9            | 1,5           | 325            | 3,6              | 1231,2     |
| 01/07/2023 | 1400      | 20,8       | 20,9       | 18,5       | 69       | 82       | 68       | 82    | 14,9             | 15,9             | 14,5             | 932,5        | 932,5        | 932,5        | 932,5            | 1,8           | 325            | 4,4              | 1841,1     |
| 01/07/2023 | 1500      | 21,7       | 22,8       | 20,5       | 59       | 70       | 57       | 70    | 13,4             | 15,4             | 13,2             | 931,7        | 932,5        | 931,7        | 931,7            | 2,1           | 291            | 5,4              | 2123,5     |
| 01/07/2023 | 1600      | 23,3       | 23,5       | 21,7       | 49       | 63       | 46       | 63    | 12               | 14,9             | 11,1             | 930,8        | 931,7        | 930,8        | 930,8            | 1,1           | 273            | 5,3              | 2175,6     |
| 01/07/2023 | 1700      | 22,9       | 24,4       | 22,9       | 48       | 54       | 40       | 54    | 11,3             | 13,3             | 9,4              | 930,2        | 930,8        | 930,2        | 930,2            | 1,5           | 196            | 4,9              | 2020,5     |
| 01/07/2023 | 1800      | 18,8       | 23,1       | 18,4       | 93       | 96       | 47       | 93    | 17,7             | 18,2             | 10,9             | 930,5        | 930,5        | 930,5        | 930,2            | 3,6           | 145            | 8                | 1215       |
| 01/07/2023 | 1900      | 17,6       | 18,9       | 17,6       | 89       | 94       | 86       | 94    | 15,7             | 17,7             | 15,5             | 930,7        | 930,7        | 930,7        | 930,5            | 4,3           | 158            | 8,1              | 1012,8     |
| 01/07/2023 | 2000      | 16,5       | 17,6       | 16,5       | 96       | 96       | 89       | 96    | 15,8             | 15,9             | 15,4             | 931,2        | 931,2        | 931,2        | 930,7            | 3,2           | 148            | 8,4              | 246,5      |
| 01/07/2023 | 2100      | 16         | 16,5       | 16         | 100      | 100      | 96       | 100   | 15,9             | 16               | 15,8             | 931,8        | 931,8        | 931,8        | 931,2            | 3             | 151            | 7,4              | 35         |
| 01/07/2023 | 2200      | 15,9       | 16         | 15,8       | 99       | 100      | 99       | 100   | 15,9             | 15,9             | 15,7             | 932,1        | 932,2        | 932,1        | 931,9            | 1,9           | 179            | 6,8              | ágina 268  |
| 01/07/2023 | 2300      | 15,8       | 15,8       | 15,8       | 99       | 100      | 99       | 100   | 15,7             | 15,7             | 15,7             | 932,4        | 932,4        | 932,4        | 932,4            | 1,9           | 171            | 4,7              | ágina 268  |
| 02/07/2023 | 0         | 15,8       | 15,8       | 15,7       | 100      | 100      | 99       | 100   | 15,8             | 15,8             | 15,7             | 932,3        | 932,3        | 932,3        | 932,2            | 1,5           | 175            | 4,4              | 0          |
| 02/07/2023 | 100       | 15,2       | 15,8       | 15,2       | 100      | 100      | 98       | 100   | 15,2             | 15,8             | 15,2             | 932,4        | 932,4        | 932,4        | 932,3            | 0,8           | 206            | 4                | 0          |
| 02/07/2023 | 200       | 14,5       | 15,2       | 14,5       | 100      | 100      | 99       | 100   | 14,5             | 15,1             | 14,5             | 932,1        | 932,1        | 932,1        | 932,1            | 0,5           | 260            | 2,6              | 0          |
| 02/07/2023 | 300       | 14,3       | 14,5       | 13,8       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,3             | 14,5             | 13,8             | 931,9        | 932,1        | 931,9        | 931,8            | 0,6           | 263            | 2,1              | 0          |
| 02/07/2023 | 400       | 13,4       | 14,3       | 13,4       | 100      | 100      | 100      | 100   | 13,4             | 14,3             | 13,4             | 931,3        | 931,9        | 931,3        | 931,3            | 0,7           | 282            | 2,1              | 0          |
| 02/07/2023 | 500       | 12,9       | 13,5       | 12,9       | 100      | 100      | 100      | 100   | 12,9             | 13,5             | 12,9             | 931          | 931,5        | 931          | 931              | 0,6           | 194            | 1,6              | 0          |
| 02/07/2023 | 600       | 13         | 13,2       | 12,9       | 100      | 100      | 100      | 100   | 13               | 13,2             | 12,9             | 930,9        | 931,1        | 930,9        | 930,8            | 1,3           | 197            | 2,3              | 0          |
| 02/07/2023 | 700       | 13,4       | 13,4       | 13         | 100      | 100      | 100      | 100   | 13,4             | 13,4             | 13               | 930,6        | 930,9        | 930,6        | 930,6            | 1,1           | 201            | 3,9              | 0,2        |
| 02/07/2023 | 800       | 13,8       | 13,8       | 13,4       | 100      | 100      | 100      | 100   | 13,8             | 13,8             | 13,4             | 930,8        | 930,8        | 930,8        | 930,6            | 1             | 187            | 2,5              | 0          |
| 02/07/2023 | 900       | 14         | 14,1       | 13,8       | 99       | 100      | 97       | 100   | 13,8             | 13,9             | 13,5             | 930,9        | 930,9        | 930,9        | 930,8            | 0,6           | 264            | 3                | 1,2        |
| 02/07/2023 | 1000      | 12,7       | 14         | 12,7       | 100      | 100      | 97       | 100   | 12,7             | 13,8             | 12,7             | 931,2        | 931,2        | 931,2        | 930,9            | 0,6           | 276            | 1,8              | 0,9        |
| 02/07/2023 | 1100      | 14,5       | 14,5       | 12,6       | 91       | 100      | 91       | 100   | 13               | 13,6             | 12,6             | 931,5        | 931,5        | 931,5        | 931,2            | 1,3           | 323            | 2,1              | 169,2      |
| 02/07/2023 | 1200      | 16,1       | 16,1       | 14,5       | 86       | 91       | 83       | 100   | 13,7             | 13,7             | 12,6             | 932          | 932,1        | 932          | 931,5            | 1,2           | 286            | 3,3              | 898,3      |
| 02/07/2023 | 1300      | 16,7       | 17,6       | 15,9       | 82       | 86       | 73       | 86    | 13,6             | 14,1             | 12,3             | 932,3        | 932,3        | 932,3        | 932              | 1,6           | 111            | 3,3              | 1519,1     |
| 02/07/2023 | 1400      | 17,1       | 17,8       | 16,5       | 80       | 86       | 74       | 86    | 13,6             | 14,8             | 12,5             | 932,3        | 932,5        | 932,3        | 932,2            | 2,8           | 151            | 5,7              | 1898,1     |
| 02/07/2023 | 1500      | 17,7       | 18,2       | 16,7       | 74       | 81       | 73       | 81    | 12,9             | 14,2             | 12,9             | 931,9        | 932,3        | 931,9        | 931,9            | 2,8           | 164            | 5,6              | 2134,8     |
| 02/07/2023 | 1600      | 18,1       | 18,4       | 17,1       | 78       | 80       | 73       | 80    | 14,1             | 14,3             | 12,9             | 930,9        | 931,9        | 930,9        | 930,8            | 2,1           | 120            | 6,2              | 1893,8     |
| 02/07/2023 | 1700      | 18,1       | 18,4       | 17,5       | 74       | 79       | 72       | 79    | 13,3             | 14,5             | 12,8             | 930,1        | 930,9        | 930,1        | 930,1            | 2,7           | 115            | 6,6              | 2045,6     |
| 02/07/2023 | 1800      | 18         | 18,5       | 17,3       | 75       | 77       | 71       | 77    | 13,5             | 14,1             | 12,8             | 930,2        | 930,2        | 930,2        | 930              | 2,3           | 123            | 5,8              | 1627,5     |
| 02/07/2023 | 1900      | 17,3       | 18,2       | 17,3       | 77       | 79       | 73       | 79    | 13,2             | 13,9             | 13               | 930,1        | 930,1        | 930,1        | 929,8            | 3,2           | 132            | 6,4              | 1134,2     |
| 02/07/2023 | 2000      | 15,8       | 17,4       | 15,8       | 85       | 85       | 76       | 85    | 13,3             | 14               | 12,7             | 930,6        | 930,6        | 930,6        | 930              | 3,2           | 149            | 6,6              | 238,8      |
| 02/07/2023 | 2100      | 14,8       | 15,8       | 14,8       | 91       | 91       | 85       | 91    | 13,3             | 13,3             | 13,3             | 931,3        | 931,3        | 931,3        | 930,6            | 2,9           | 164            | 7,1              | 10,1       |
| 02/07/2023 | 2200      | 13,9       | 14,8       | 13,9       | 100      | 100      | 91       | 100   | 13,9             | 14,1             | 13,4             | 931,8        | 931,8        | 931,8        | 931,3            | 1,5           | 177            | 5                | 0          |
| 02/07/2023 | 2300      | 14,5       | 14,5       | 14,5       | 100      | 100      | 100      | 100   | 14,5             | 14,5             | 14,5             | 931,8        | 931,8        | 931,8        | 931,8            | 1,5           | 177            | 5                | 0          |

APÊNDICE B – EXEMPLO DE PLANILHA OBTIDA PELO IAG - USP (01/2019)

| JANEIRO DE 2019 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Temp. do ar (°C) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| HID             | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   | 30   | 31               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1               | 20,2 | 23,9 | 24,4 | 22,3 | 20,8 | 20,6 | 20,7 | 21,8 | 21,9 | 21,4 | 20,1 | 20,8 | 20,7 | 20,9 | 22,8 | 21,8 | 22,1 | 22,2 | 21,7 | 21,9 | 22,3 | 22,2 | 23,2 | 21,9 | 22,4 | 16,4 | 19,9 | 20,0 | 22,4 | 21,7 | 20,8             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2               | 20,1 | 21,8 | 24,0 | 22,0 | 20,8 | 20,6 | 20,6 | 21,9 | 21,6 | 21,1 | 20,0 | 20,8 | 20,5 | 20,4 | 22,4 | 21,6 | 21,6 | 22,5 | 21,9 | 21,9 | 21,9 | 22,4 | 23,2 | 21,8 | 21,6 | 16,5 | 19,8 | 19,8 | 21,2 | 21,0 | 19,3             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3               | 20,1 | 20,1 | 24,1 | 21,9 | 20,9 | 20,6 | 20,5 | 21,7 | 21,1 | 21,0 | 19,7 | 20,9 | 20,5 | 20,5 | 22,5 | 21,6 | 21,7 | 22,3 | 22,0 | 21,4 | 21,8 | 22,6 | 23,3 | 21,8 | 21,4 | 16,9 | 19,0 | 19,4 | 20,7 | 20,8 | 19,0             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4               | 19,8 | 18,8 | 23,8 | 21,8 | 20,9 | 20,2 | 20,7 | 21,8 | 20,6 | 21,2 | 19,9 | 20,9 | 19,7 | 20,5 | 22,5 | 22,0 | 21,5 | 22,4 | 21,9 | 22,1 | 21,5 | 22,2 | 22,9 | 21,8 | 21,3 | 16,8 | 19,2 | 19,4 | 20,5 | 20,3 | 18,7             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5               | 20,1 | 21,1 | 22,9 | 21,9 | 20,6 | 20,3 | 21,0 | 22,0 | 20,5 | 21,2 | 19,7 | 20,7 | 19,0 | 20,5 | 22,5 | 21,9 | 20,9 | 22,4 | 22,4 | 22,1 | 21,2 | 22,3 | 21,9 | 21,8 | 21,3 | 16,7 | 20,1 | 19,4 | 20,4 | 20,2 | 18,6             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6               | 20,6 | 22,0 | 23,2 | 22,0 | 20,6 | 20,4 | 21,3 | 22,3 | 20,6 | 21,5 | 20,1 | 20,9 | 19,0 | 20,9 | 22,8 | 21,8 | 20,8 | 22,0 | 22,4 | 22,3 | 21,0 | 22,5 | 21,9 | 22,0 | 21,3 | 16,3 | 19,4 | 19,3 | 20,5 | 21,1 | 18,5             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7               | 22,0 | 22,4 | 24,6 | 22,8 | 20,6 | 21,5 | 22,8 | 25,6 | 22,0 | 23,6 | 22,0 | 22,0 | 21,0 | 21,9 | 23,4 | 22,8 | 21,2 | 23,0 | 23,0 | 22,0 | 23,1 | 23,8 | 22,8 | 22,6 | 21,8 | 18,3 | 21,1 | 20,8 | 22,4 | 21,4 | 20,2             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8               | 23,0 | 26,3 | 25,3 | 23,8 | 20,6 | 23,7 | 25,1 | 28,6 | 24,5 | 26,4 | 23,0 | 23,5 | 24,4 | 25,0 | 24,3 | 24,7 | 25,2 | 24,8 | 26,0 | 24,6 | 25,8 | 25,6 | 25,8 | 24,9 | 22,4 | 21,0 | 23,4 | 25,9 | 27,2 | 26,2 | 25,8             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9               | 25,0 | 27,4 | 28,8 | 24,8 | 20,6 | 25,1 | 27,2 | 29,6 | 26,8 | 28,1 | 26,1 | 25,2 | 26,4 | 26,6 | 25,7 | 27,0 | 27,6 | 27,3 | 28,0 | 26,6 | 28,1 | 26,5 | 27,4 | 25,8 | 23,5 | 21,4 | 25,6 | 28,2 | 29,0 | 29,6 | 30,2             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10              | 27,0 | 28,2 | 29,9 | 26,1 | 21,2 | 26,7 | 28,8 | 31,4 | 28,6 | 29,2 | 28,6 | 26,0 | 28,0 | 28,4 | 26,7 | 28,2 | 28,7 | 29,0 | 29,0 | 29,0 | 29,4 | 28,6 | 28,4 | 27,2 | 24,8 | 23,8 | 26,9 | 29,9 | 31,0 | 31,3 | 32,0             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11              | 28,4 | 29,9 | 30,2 | 28,7 | 21,9 | 28,0 | 30,2 | 32,8 | 29,4 | 29,8 | 30,4 | 26,9 | 29,0 | 29,4 | 28,0 | 29,9 | 30,0 | 30,6 | 30,8 | 30,2 | 31,0 | 30,4 | 29,2 | 28,1 | 25,4 | 25,0 | 28,5 | 30,3 | 31,9 | 33,1 | 33,2             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12              | 29,2 | 30,2 | 31,2 | 29,7 | 22,7 | 27,6 | 31,1 | 32,6 | 31,1 | 30,3 | 31,1 | 27,9 | 29,5 | 31,0 | 29,3 | 30,6 | 31,1 | 31,3 | 31,6 | 29,0 | 31,9 | 30,9 | 30,1 | 28,8 | 24,8 | 27,2 | 28,8 | 31,2 | 31,8 | 33,0 | 33,6             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13              | 28,4 | 30,8 | 31,6 | 23,6 | 24,3 | 27,4 | 32,0 | 32,2 | 30,2 | 30,9 | 31,7 | 29,0 | 30,6 | 31,4 | 30,4 | 30,8 | 32,1 | 31,5 | 31,6 | 28,2 | 32,8 | 27,4 | 30,0 | 29,3 | 25,1 | 27,0 | 29,8 | 31,9 | 33,3 | 33,0 | 34,0             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14              | 27,4 | 31,2 | 32,6 | 22,0 | 24,5 | 26,9 | 32,8 | 33,6 | 30,5 | 32,2 | 29,1 | 28,7 | 27,9 | 32,4 | 31,5 | 31,4 | 32,8 | 32,2 | 31,2 | 26,2 | 32,8 | 26,9 | 29,8 | 29,9 | 24,7 | 28,1 | 29,5 | 31,1 | 26,9 | 34,6 | 33,8             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15              | 26,2 | 31,7 | 33,5 | 22,8 | 24,1 | 28,7 | 33,0 | 30,4 | 29,8 | 33,4 | 24,5 | 27,3 | 23,0 | 30,6 | 31,1 | 29,0 | 32,8 | 28,0 | 33,2 | 24,6 | 33,4 | 25,4 | 30,5 | 27,4 | 23,7 | 27,8 | 29,7 | 32,9 | 28,7 | 33,7 | 33,7             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16              | 24,1 | 32,0 | 31,7 | 24,8 | 24,0 | 27,7 | 31,7 | 21,3 | 30,3 | 32,0 | 24,0 | 26,2 | 24,0 | 24,2 | 32,6 | 26,9 | 28,5 | 20,9 | 32,3 | 24,3 | 31,1 | 24,9 | 26,8 | 23,8 | 18,6 | 25,4 | 29,5 | 33,1 | 29,2 | 31,9 | 32,2             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17              | 23,7 | 25,8 | 30,4 | 21,1 | 24,0 | 25,1 | 31,8 | 21,7 | 27,7 | 31,2 | 23,4 | 25,7 | 24,5 | 22,4 | 26,6 | 28,2 | 25,4 | 20,8 | 29,8 | 23,4 | 30,4 | 25,2 | 25,8 | 24,2 | 16,5 | 24,0 | 28,2 | 29,4 | 29,2 | 27,0 | 31,3             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18              | 23,5 | 25,2 | 29,0 | 21,6 | 23,0 | 23,9 | 30,9 | 22,6 | 25,5 | 28,8 | 25,1 | 24,6 | 25,0 | 24,0 | 27,0 | 25,0 | 24,4 | 21,9 | 28,7 | 23,1 | 27,2 | 24,5 | 25,3 | 24,6 | 17,9 | 20,8 | 24,8 | 27,4 | 28,5 | 27,8 | 29,5             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19              | 23,0 | 25,6 | 23,0 | 21,4 | 22,0 | 20,6 | 28,4 | 21,4 | 24,6 | 25,0 | 23,2 | 23,4 | 23,6 | 23,8 | 25,6 | 23,5 | 24,1 | 21,5 | 27,0 | 23,0 | 24,4 | 23,9 | 24,4 | 23,0 | 17,9 | 20,8 | 24,2 | 25,9 | 25,2 | 24,3 | 27,6             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20              | 23,0 | 24,2 | 22,8 | 21,6 | 21,7 | 20,8 | 26,0 | 21,8 | 24,3 | 23,0 | 22,4 | 22,8 | 23,0 | 23,4 | 24,4 | 23,3 | 23,4 | 22,2 | 22,9 | 22,7 | 23,2 | 23,5 | 23,7 | 22,6 | 18,4 | 19,6 | 24,1 | 25,2 | 24,3 | 23,5 | 25,0             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 21              | 22,9 | 24,6 | 22,4 | 21,5 | 21,4 | 21,2 | 24,2 | 21,0 | 24,0 | 22,0 | 22,0 | 22,4 | 22,2 | 23,0 | 23,2 | 23,2 | 23,7 | 22,0 | 23,2 | 22,8 | 23,6 | 23,6 | 23,3 | 22,4 | 18,0 | 19,7 | 22,9 | 24,6 | 23,0 | 22,2 | 22,8             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 22              | 23,0 | 24,8 | 22,3 | 21,4 | 21,1 | 20,9 | 23,8 | 21,1 | 23,8 | 20,8 | 22,7 | 21,5 | 21,2 | 23,0 | 24,0 | 23,1 | 23,3 | 22,2 | 23,1 | 22,9 | 23,4 | 23,0 | 22,7 | 22,5 | 17,9 | 20,2 | 22,0 | 23,6 | 22,6 | 21,4 | 21,8             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 23              | 22,8 | 25,0 | 22,5 | 21,1 | 21,0 | 21,1 | 23,2 | 22,2 | 22,9 | 20,5 | 22,1 | 21,3 | 21,4 | 23,0 | 23,6 | 22,5 | 22,5 | 21,6 | 22,2 | 22,5 | 23,0 | 23,5 | 22,1 | 21,9 | 17,4 | 20,4 | 21,2 | 23,0 | 23,0 | 20,6 | 20,9             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 24              | 22,7 | 24,8 | 22,3 | 21,0 | 20,8 | 20,8 | 22,2 | 21,8 | 22,2 | 20,0 | 21,7 | 20,6 | 21,2 | 23,0 | 22,4 | 22,5 | 22,2 | 21,6 | 22,0 | 22,6 | 22,9 | 23,1 | 21,8 | 22,4 | 17,0 | 19,7 | 20,4 | 22,0 | 22,1 | 20,2 | 20,9             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉDIA DIÁRIA    | 23,6 | 25,7 | 26,5 | 23,0 | 21,8 | 23,4 | 26,3 | 25,1 | 25,2 | 25,6 | 23,9 | 23,8 | 23,6 | 24,5 | 25,6 | 25,1 | 25,3 | 24,4 | 26,2 | 24,1 | 26,1 | 24,8 | 25,3 | 24,3 | 21,1 | 21,3 | 24,1 | 25,6 | 25,6 | 25,8 | 26,0             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÁXIMA DIÁRIA   | 31,6 | 33,6 | 34,6 | 30,0 | 25,4 | 31,2 | 33,6 | 34,8 | 32,7 | 34,0 | 32,2 | 30,6 | 32,0 | 33,3 | 33,6 | 33,4 | 33,8 | 33,5 | 34,6 | 31,0 | 34,3 | 31,8 | 31,3 | 30,6 | 26,6 | 29,7 | 31,4 | 35,0 | 34,2 | 35,7 | 34,6             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

APÊNDICE C – PLANILHA DE DADOS “A1” PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO ESTATÍSTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

| Ano     | T Média Mensal (°C) |       | U Média Mensal (%) |       | EMISSÃO DE POLUENTE MP2.5 (µg/m3) |       | Média Precipitações/Chuvas (mm) |       | Velocidade média dos ventos (m/s) |       | U Média Mensal (%) Estandarizada |         | EMISSÃO DE POLUENTE MP2.5 (µg/m3) Estandarizada |         | Média Precipitações/Chuvas (mm) Estandarizada |         | Velocidade média dos ventos (m/s) Estandarizada |         | T Estimado com o modelo próximo a zero |         |      |
|---------|---------------------|-------|--------------------|-------|-----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|---------|-------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|---------|----------------------------------------|---------|------|
|         | TAN                 | UAN   | EPAN               | PAN   | UAN                               | EPAN  | PAN                             | UAN   | EPAN                              | PAN   | UAN                              | EPAN    | PAN                                             | UAN     | EPAN                                          | PAN     | UAN                                             | EPAN    | T                                      | Erro    |      |
| 2019    | jan/19              | 25.11 | 64.96              | 13.99 | 1.64                              | 0.2   | 0.43                            | 1.64  | 0.2                               | 0.43  | -0.19                            | -0.45   | 23.0739                                         | 2.04    | -0.45                                         | 23.0739 | 2.04                                            | -0.45   | 23.0739                                | 2.04    |      |
|         | fev/19              | 23.09 | 69.64              | 11.41 | 1.99                              | -0.26 | 0.74                            | 1.89  | -0.26                             | 0.74  | -0.37                            | -0.66   | 23.3881                                         | -0.30   | -0.66                                         | 23.3881 | -0.30                                           | -0.66   | 23.3881                                | -0.30   |      |
|         | mar/19              | 22.59 | 71.92              | 14.06 | 1.68                              | -0.48 | 0.42                            | 1.68  | -0.48                             | 0.42  | 0.17                             | -0.35   | 21.0149                                         | 1.58    | -0.35                                         | 21.0149 | 1.58                                            | -0.35   | 21.0149                                | 1.58    |      |
|         | abr/19              | 22.26 | 69.80              | 16.76 | 1.30                              | -0.27 | 0.1                             | 1.53  | -0.27                             | 0.1   | 0.46                             | -0.35   | 19.9845                                         | 2.27    | -0.35                                         | 19.9845 | 2.27                                            | -0.35   | 19.9845                                | 2.27    |      |
|         | maio/19             | 20.45 | 70.57              | 17.64 | 1.46                              | -0.35 | 0.08                            | 1.46  | -0.35                             | 0.08  | 0.82                             | -0.14   | 18.7589                                         | 1.70    | -0.14                                         | 18.7589 | 1.70                                            | -0.14   | 18.7589                                | 1.70    |      |
|         | jun/19              | 19.03 | 66.11              | 20.16 | 1.30                              | 0.08  | -0.3                            | 1.30  | 0.08                              | -0.3  | 0.87                             | -0.21   | 18.7307                                         | 0.29    | -0.21                                         | 18.7307 | 0.29                                            | -0.21   | 18.7307                                | 0.29    |      |
|         | jul/19              | 16.99 | 63.90              | 20.51 | 1.38                              | 0.3   | -0.34                           | 1.38  | 0.3                               | -0.34 | 0.46                             | -0.66   | 20.0176                                         | -3.03   | -0.66                                         | 20.0176 | -3.03                                           | -0.66   | 20.0176                                | -3.03   |      |
|         | ago/19              | 17.58 | 66.13              | 19.12 | 1.88                              | 0.08  | -0.18                           | 1.88  | 0.08                              | -0.18 | 1                                | -0.78   | 18.6716                                         | -1.09   | -0.78                                         | 18.6716 | -1.09                                           | -0.78   | 18.6716                                | -1.09   |      |
|         | set/19              | 19.90 | 67.67              | 19.18 | 1.95                              | -0.06 | -0.72                           | 1.95  | -0.06                             | -0.72 | 0.85                             | -0.78   | 19.1126                                         | 0.79    | -0.78                                         | 19.1126 | 0.79                                            | -0.78   | 19.1126                                | 0.79    |      |
|         | out/19              | 22.16 | 63.56              | 17.70 | 2.02                              | -0.34 | 0.59                            | 2.02  | -0.34                             | 0.59  | 0.88                             | -1      | 20.6218                                         | 0.67    | -1                                            | 20.6218 | 0.67                                            | -1      | 20.6218                                | 0.67    |      |
|         | nov/19              | 21.29 | 70.46              | 12.70 | 2.26                              | -0.25 | 0.03                            | 2.26  | -0.25                             | 0.03  | 0.85                             | -0.77   | 22.1122                                         | 0.36    | -0.77                                         | 22.1122 | 0.36                                            | -0.77   | 22.1122                                | 0.36    |      |
|         | dez/19              | 22.47 | 69.57              | 12.67 | 2.01                              | -0.27 | 0.95                            | 2.01  | -0.27                             | 0.95  | 0.88                             | -0.64   | 22.5905                                         | 0.35    | -0.64                                         | 22.5905 | 0.35                                            | -0.64   | 22.5905                                | 0.35    |      |
|         | jan/20              | 22.94 | 69.75              | 11.35 | 2.00                              | -0.97 | -0.09                           | 2.00  | -0.97                             | -0.09 | 0.76                             | -0.83   | 24.13                                           | -2.33   | -0.83                                         | 24.13   | -2.33                                           | -0.83   | 24.13                                  | -2.33   |      |
|         | fev/20              | 21.80 | 76.91              | 9.68  | 1.86                              | -0.28 | 0.64                            | 1.86  | -0.28                             | 0.64  | 0.99                             | -0.68   | 20.2656                                         | 1.21    | -0.68                                         | 20.2656 | 1.21                                            | -0.68   | 20.2656                                | 1.21    |      |
|         | mar/20              | 21.48 | 69.91              | 12.72 | 2.07                              | -0.08 | 0.11                            | 2.07  | -0.08                             | 0.11  | 0.98                             | -0.61   | 20.1725                                         | -0.06   | -0.61                                         | 20.1725 | -0.06                                           | -0.61   | 20.1725                                | -0.06   |      |
|         | abr/20              | 20.11 | 66.13              | 13.38 | 1.90                              | 0.08  | -0.16                           | 1.90  | 0.08                              | -0.16 | 0.99                             | -0.68   | 19.7683                                         | -2.03   | -0.68                                         | 19.7683 | -2.03                                           | -0.68   | 19.7683                                | -2.03   |      |
|         | maio/20             | 17.74 | 63.54              | 16.69 | 1.63                              | 0.33  | 0.03                            | 1.63  | 0.33                              | 0.03  | 0.42                             | -0.46   | 20.7873                                         | -1.52   | -0.46                                         | 20.7873 | -1.52                                           | -0.46   | 20.7873                                | -1.52   |      |
|         | jun/20              | 19.27 | 66.65              | 16.03 | 1.65                              | 0.03  | -0.02                           | 1.65  | 0.03                              | -0.02 | 0.98                             | -0.62   | 19.6269                                         | -1.14   | -0.62                                         | 19.6269 | -1.14                                           | -0.62   | 19.6269                                | -1.14   |      |
|         | jul/20              | 18.49 | 62.72              | 17.83 | 1.84                              | 0.41  | 0                               | 1.84  | 0.41                              | 0     | 0.77                             | -0.47   | 19.1365                                         | -1.59   | -0.47                                         | 19.1365 | -1.59                                           | -0.47   | 19.1365                                | -1.59   |      |
|         | ago/20              | 17.54 | 66.90              | 18.96 | 1.67                              | 0.64  | 0.64                            | 1.67  | 0.64                              | 0.64  | 0.97                             | -0.54   | 18.2683                                         | 3.65    | -0.54                                         | 18.2683 | 3.65                                            | -0.54   | 18.2683                                | 3.65    |      |
|         | set/20              | 21.92 | 60.39              | 24.74 | 2.02                              | -0.16 | 0.21                            | 2.02  | -0.16                             | 0.21  | 0.52                             | -0.76   | 21.0749                                         | 0.52    | -0.76                                         | 21.0749 | 0.52                                            | -0.76   | 21.0749                                | 0.52    |      |
|         | out/20              | 20.59 | 65.95              | 17.32 | 1.88                              | -0.16 | 0.6                             | 1.88  | -0.16                             | 0.6   | 0.46                             | -0.65   | 21.2426                                         | -0.65   | -0.65                                         | 21.2426 | -0.65                                           | -0.65   | 21.2426                                | -0.65   |      |
|         | nov/20              | 22.56 | 72.05              | 9.95  | 1.42                              | -0.49 | 0.22                            | 0.92  | 1.42                              | -0.49 | 0.22                             | 0.92    | -0.25                                           | 22.5052 | 0.05                                          | -0.25   | 22.5052                                         | 0.05    | -0.25                                  | 22.5052 | 0.05 |
|         | dez/20              | 23.97 | 69.71              | 12.52 | 1.05                              | -0.26 | 0.30                            | 1.05  | -0.26                             | 0.30  | 0.61                             | 0.07    | 21.6762                                         | 2.29    | 0.07                                          | 21.6762 | 2.29                                            | 0.07    | 21.6762                                | 2.29    |      |
| jan/21  | 22.60               | 71.48 | 13.01              | 1.81  | -0.44                             | 0.17  | 1.81                            | -0.44 | 0.17                              | 0.57  | -0.19                            | 21.3615 | 1.23                                            | -0.19   | 21.3615                                       | 1.23    | -0.19                                           | 21.3615 | 1.23                                   |         |      |
| fev/21  | 23.53               | 68.61 | 12.95              | 1.35  | -0.16                             | 0.86  | 1.35                            | -0.16 | 0.86                              | 0.81  | 0.9                              | 20.8897 | -0.96                                           | 0.9     | 20.8897                                       | -0.96   | 0.9                                             | 20.8897 | -0.96                                  |         |      |
| mar/21  | 19.84               | 69.66 | 10.35              | 0.86  | -0.26                             | 0.06  | 0.86                            | -0.26 | 0.06                              | 0.85  | -0.34                            | 18.6169 | -0.10                                           | -0.34   | 18.6169                                       | -0.10   | -0.34                                           | 18.6169 | -0.10                                  |         |      |
| abr/21  | 18.52               | 67.41 | 19.95              | 0.39  | -0.04                             | 0.96  | 0.39                            | -0.04 | 0.96                              | 0.85  | -0.28                            | 18.0722 | -0.77                                           | -0.28   | 18.0722                                       | -0.77   | -0.28                                           | 18.0722 | -0.77                                  |         |      |
| maio/21 | 17.30               | 71.51 | 18.38              | 1.52  | -0.44                             | -0.29 | 1.52                            | -0.44 | -0.29                             | 0.96  | -0.44                            | -0.34   | 18.1219                                         | -2.40   | -0.34                                         | 18.1219 | -2.40                                           | -0.34   | 18.1219                                | -2.40   |      |
| jun/21  | 15.72               | 60.80 | 25.91              | 0.65  | 0.6                               | -1    | 0.65                            | 0.6   | -1                                | 0.87  | 0.42                             | 18.5232 | -0.15                                           | 0.42    | 18.5232                                       | -0.15   | 0.42                                            | 18.5232 | -0.15                                  |         |      |
| jul/21  | 18.37               | 62.62 | 23.31              | 0.82  | 0.42                              | 0.3   | 0.82                            | 0.42  | 0.3                               | 0.87  | -0.6                             | 18.2723 | 2.63                                            | -0.6    | 18.2723                                       | 2.63    | -0.6                                            | 18.2723 | 2.63                                   |         |      |
| ago/21  | 20.90               | 63.89 | 23.34              | 1.82  | 0.3                               | -0.69 | 1.82                            | 0.3   | -0.69                             | 0.41  | -0.88                            | 20.0133 | -1.33                                           | -0.88   | 20.0133                                       | -1.33   | -0.88                                           | 20.0133 | -1.33                                  |         |      |
| set/21  | 19.68               | 77.18 | 12.23              | 2.13  | -1                                | 0.64  | 2.13                            | -1    | 0.64                              | 0.63  | -0.88                            | 20.9575 | -0.28                                           | -0.88   | 20.9575                                       | -0.28   | -0.88                                           | 20.9575 | -0.28                                  |         |      |
| out/21  | 20.67               | 66.48 | 13.42              | 2.24  | 0.04                              | 0.5   | 2.24                            | 0.04  | 0.5                               | 0.32  | -0.7                             | 21.2964 | 0.02                                            | -0.7    | 21.2964                                       | 0.02    | -0.7                                            | 21.2964 | 0.02                                   |         |      |
| nov/21  | 21.32               | 70.53 | 12.50              | 1.93  | -0.34                             | 0.61  | 1.93                            | -0.34 | 0.61                              | 0.56  | -0.19                            | 20.8897 | -0.96                                           | -0.19   | 20.8897                                       | -0.96   | -0.19                                           | 20.8897 | -0.96                                  |         |      |
| dez/21  | 22.62               | 75.96 | 12.94              | 1.71  | -0.88                             | 0.26  | 1.71                            | -0.88 | 0.26                              | 0.77  | -0.67                            | 20.1257 | 2.83                                            | -0.67   | 20.1257                                       | 2.83    | -0.67                                           | 20.1257 | 2.83                                   |         |      |
| jan/22  | 22.96               | 69.69 | 13.31              | 1.90  | -0.26                             | 0.51  | 1.90                            | -0.26 | 0.51                              | 0.12  | -0.55                            | 21.5855 | 2.04                                            | -0.55   | 21.5855                                       | 2.04    | -0.55                                           | 21.5855 | 2.04                                   |         |      |
| fev/22  | 23.62               | 70.39 | 13.37              | 1.75  | -0.33                             | 0.45  | 1.75                            | -0.33 | 0.45                              | 0.78  | -0.65                            | 19.9559 | 1.20                                            | -0.65   | 19.9559                                       | 1.20    | -0.65                                           | 19.9559 | 1.20                                   |         |      |
| mar/22  | 21.16               | 69.81 | 13.86              | 1.86  | -0.27                             | 0.13  | 1.86                            | -0.27 | 0.13                              | 0.82  | -0.7                             | 19.5572 | -1.81                                           | -0.7    | 19.5572                                       | -1.81   | -0.7                                            | 19.5572 | -1.81                                  |         |      |
| abr/22  | 17.75               | 67.40 | 16.46              | 1.93  | -0.04                             | -0.41 | 1.93                            | -0.04 | -0.41                             | 0.99  | -0.38                            | 18.208  | -1.03                                           | -0.38   | 18.208                                        | -1.03   | -0.38                                           | 18.208  | -1.03                                  |         |      |
| maio/22 | 17.18               | 71.25 | 18.76              | 1.56  | -0.41                             | -0.74 | 1.56                            | -0.41 | -0.74                             | 0.99  | -0.38                            | 18.7287 | 0.49                                            | -0.38   | 18.7287                                       | 0.49    | -0.38                                           | 18.7287 | 0.49                                   |         |      |
| jun/22  | 19.22               | 58.76 | 23.78              | 1.58  | 0.8                               | 0.08  | 1.58                            | 0.8   | 0.08                              | 0.11  | -0.91                            | 19.5838 | -2.44                                           | -0.91   | 19.5838                                       | -2.44   | -0.91                                           | 19.5838 | -2.44                                  |         |      |
| ago/22  | 17.14               | 66.12 | 16.66              | 2.16  | 0.08                              | 0.15  | 2.16                            | 0.08  | 0.15                              | 0.39  | -0.8                             | 20.074  | 0.68                                            | -0.8    | 20.074                                        | 0.68    | -0.8                                            | 20.074  | 0.68                                   |         |      |
| set/22  | 16.77               | 72.57 | 16.36              | 2.04  | -0.54                             | -0.36 | 2.04                            | -0.54 | -0.36                             | 0.58  | -0.73                            | 21.9551 | -2.65                                           | -0.73   | 21.9551                                       | -2.65   | -0.73                                           | 21.9551 | -2.65                                  |         |      |
| out/22  | 20.76               | 70.67 | 14.67              | 1.96  | -0.36                             | 0.84  | 1.96                            | -0.36 | 0.84                              | 0.36  | -0.89                            | 21.5676 | 0.08                                            | -0.89   | 21.5676                                       | 0.08    | -0.89                                           | 21.5676 | 0.08                                   |         |      |
| nov/22  | 19.30               | 69.02 | 10.59              | 2.14  | -0.2                              | 0.91  | 2.14                            | -0.2  | 0.91                              | 0.99  | -0.77                            | 21.6783 | 0.63                                            | -0.77   | 21.6783                                       | 0.63    | -0.77                                           | 21.6783 | 0.63                                   |         |      |
| dez/22  | 21.65               | 72.17 | 9.99               | 1.99  | -0.5                              | 0.23  | 1.99                            | -0.5  | 0.23                              | 0.99  | -0.43                            | 21.6497 | 1.45                                            | -0.43   | 21.6497                                       | 1.45    | -0.43                                           | 21.6497 | 1.45                                   |         |      |
| jan/23  | 22.30               | 73.32 | 10.04              | 1.84  | -0.62                             | 0.78  | 1.84                            | -0.62 | 0.78                              | 0.55  | -0.57                            | 20.6702 | -0.55                                           | -0.57   | 20.6702                                       | -0.55   | -0.57                                           | 20.6702 | -0.55                                  |         |      |
| fev/23  | 22.93               | 74.41 | 9.31               | 2.01  | -0.72                             | 0.99  | 2.01                            | -0.72 | 0.99                              | 0.74  | -0.22                            | 19.6032 | -1.36                                           | -0.22   | 19.6032                                       | -1.36   | -0.22                                           | 19.6032 | -1.36                                  |         |      |
| mar/23  | 23.10               | 70.37 | 13.06              | 1.62  | -0.33                             | -0.05 | 1.62                            | -0.33 | -0.05                             | 0.92  | -0.48                            | 18.7293 | -1.04                                           | -0.48   | 18.7293                                       | -1.04   | -0.48                                           | 18.7293 | -1.04                                  |         |      |
| abr/23  | 20.12               | 71.61 | 11.09              | 1.78  | -0.45                             | -0.14 | 1.78                            | -0.45 | -0.14                             | 0.99  | -0.58                            | 19.7095 | -2.88                                           | -0.58   | 19.7095                                       | -2.88   | -0.58                                           | 19.7095 | -2.88                                  |         |      |
| maio/23 | 18.25               | 67.18 | 17.22              | 1.38  | -0.02                             | 0.04  | 1.38                            | -0.02 | 0.04                              | 0.97  | -0.24                            | 20.2404 | -0.24                                           | -0.24   | 20.2404                                       | -0.24   | -0.24                                           | 20.2404 | -0.24                                  |         |      |
| jun/23  | 17.69               | 67.55 | 18.82              | 1.66  | 0.46                              | -0.01 | 1.66                            | 0.46  | -0.01                             | 0.97  | -0.58                            | 20.9108 | 1.23                                            | -0.58   | 20.9108                                       | 1.23    | -0.58                                           | 20.9108 | 1.23                                   |         |      |
| jul/23  | 16.82               | 62.23 | 17.72              | 1.98  | 0.37                              | 0.18  | 1.98                            | 0.37  | 0.18                              | 0.55  | -0.64                            | 21.7524 | -0.56                                           | -0.64   | 21.7524                                       | -0.56   | -0.64                                           | 21.7524 | -0.56                                  |         |      |
| ago/23  | 19.00               | 63.16 | 19.18              | 1.79  | 0.75                              | -0.79 | 1.79                            | 0.75  | -0.79                             | 0.46  | -0.94                            | 23.2182 | -2.33                                           | -0.94   | 23.2182                                       | -2.33   | -0.94                                           | 23.2182 | -2.33                                  |         |      |
| set/23  | 22.14               | 58.23 | 19.16              | 1.86  | 0.34                              | 0.25  | 1.86                            | 0.34  | 0.25                              | 0.67  | -0.74                            | 20.6363 | 3.11                                            | -0.74   | 20.6363                                       | 3.11    | -0.74                                           | 20.6363 | 3.11                                   |         |      |
| out/23  | 21.20               | 75.05 | 13.46              | 1.92  | -0.79                             | 0.46  | 1.92                            | -0.79 | 0.46                              | 0.67  | -0.74                            | 20.6363 | 3.11                                            | -0.74   | 20.6363                                       | 3.11    | -0.74                                           | 20.6363 | 3.11                                   |         |      |
| nov/23  | 20.89               | 56.77 | 13.72              | 2.20  | 1                                 | 0.34  | 2.20                            | 1     | 0.34                              | 0.67  | -0.74                            | 20.6363 | 3.11                                            | -0.74   | 20.6363                                       | 3.11    | -0.74                                           | 20.6363 | 3.11                                   |         |      |
| dez/23  | 23.95               | 63.42 | 15.49              | 1.97  | 0.34                              | 0.25  | 1.97                            | 0.34  | 0.25                              | 0.67  | -0.74                            | 20.6363 | 3.11                                            | -0.74   | 20.6363                                       | 3.11    | -0.74                                           | 20.6363 | 3.11                                   |         |      |
| XA      | 15.72               | 56.77 | 9.31               | 0.00  |                                   |       | 9.31                            | 0.00  |                                   | 0.01  |                                  |         |                                                 |         |                                               |         |                                                 |         |                                        |         |      |
| XB      | 25.11               | 77.18 | 25.91              | 2.26  |                                   |       | 25.91                           | 2.26  |                                   | 0.71  |                                  |         |                                                 |         |                                               |         |                                                 |         |                                        |         |      |

APÊNDICE D – PLANILHA DE DADOS “A2” PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO ESTATÍSTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

| Ano    | T Média Mensal (°C) | U Média Mensal (%) | Emissão de Poluente MP2,5 (µg/m³) | Média Precipitações/Chuvas (mm) | Velocidade média dos ventos (m/s) | U Média Mensal (%) Estandarizada |       |       | Emissão de Poluente MP2,5 (µg/m³) Estandarizada | PASE  | Velocidade média dos ventos (m/s) Estandarizada | T Estimado com o modelo obtido (°C) | Erro próximo a zero |
|--------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
|        |                     |                    |                                   |                                 |                                   | UASE                             | VASE  | EPASE |                                                 |       |                                                 |                                     |                     |
| jan/19 | 24,60               | 76,58              | 16,51                             | 8,65                            | 5,03                              | -0,26                            | 0,29  | 0,11  | 20,9883                                         | 3,61  | 20,9883                                         | 3,61                                |                     |
| fev/19 | 22,62               | 80,49              | 13,45                             | 16,77                           | 5,57                              | -0,56                            | 0,68  | -0,3  | 24,0222                                         | -1,40 | 24,0222                                         | -1,40                               |                     |
| mar/19 | 22,05               | 83,12              | 13,54                             | 10,62                           | 5,15                              | -0,76                            | 0,67  | 0,02  | 22,0749                                         | -0,03 | 22,0749                                         | -0,03                               |                     |
| abr/19 | 21,41               | 82,00              | 18,32                             | 5,48                            | 4,39                              | -0,68                            | 0,07  | 0,61  | 19,7631                                         | 1,65  | 19,7631                                         | 1,65                                |                     |
| mai/19 | 19,77               | 82,09              | 18,28                             | 1,99                            | 4,74                              | -0,68                            | 0,07  | 0,34  | 18,6537                                         | 1,12  | 18,6537                                         | 1,12                                |                     |
| jun/19 | 17,90               | 79,24              | 21,59                             | 1,83                            | 4,32                              | -0,47                            | -0,33 | 0,67  | 18,1101                                         | -0,21 | 18,1101                                         | -0,21                               |                     |
| jul/19 | 15,80               | 77,38              | 23,31                             | 3,67                            | 4,77                              | -0,32                            | -0,55 | 0,32  | 18,4329                                         | -2,63 | 18,4329                                         | -2,63                               |                     |
| ago/19 | 16,62               | 78,33              | 19,83                             | 0,32                            | 5,94                              | -0,4                             | -0,11 | -0,58 | 17,9163                                         | -1,30 | 17,9163                                         | -1,30                               |                     |
| set/19 | 18,89               | 80,08              | 20,84                             | 2,82                            | 5,96                              | -0,53                            | -0,24 | -0,6  | 18,5304                                         | 0,36  | 18,5304                                         | 0,36                                |                     |
| out/19 | 20,90               | 77,14              | 18,69                             | 1,30                            | 5,88                              | -0,3                             | 0,02  | -0,53 | 18,3858                                         | 2,52  | 18,3858                                         | 2,52                                |                     |
| nov/19 | 20,42               | 82,13              | 14,47                             | 5,46                            | 6,47                              | -0,69                            | 0,55  | 0,36  | 20,3277                                         | 0,09  | 20,3277                                         | 0,09                                |                     |
| dez/19 | 21,84               | 80,26              | 14,11                             | 3,75                            | 5,76                              | -0,54                            | 0,6   | -0,44 | 19,8732                                         | 1,96  | 19,8732                                         | 1,96                                |                     |
| jan/20 | 22,42               | 79,82              | 12,12                             | 7,00                            | 5,75                              | -0,52                            | 0,85  | -0,01 | 21,1869                                         | 1,23  | 21,1869                                         | 1,23                                |                     |
| fev/20 | 21,46               | 86,06              | 12,65                             | 16,05                           | 5,20                              | -0,99                            | 0,78  | -0,04 | 23,913                                          | -2,46 | 23,913                                          | -2,46                               |                     |
| mar/20 | 20,79               | 81,24              | 13,47                             | 2,87                            | 5,70                              | -0,62                            | 0,68  | -0,4  | 19,6878                                         | 1,10  | 19,6878                                         | 1,10                                |                     |
| abr/20 | 19,22               | 77,91              | 14,35                             | 0,21                            | 5,19                              | -0,36                            | 0,57  | 0     | 18,7269                                         | 0,49  | 18,7269                                         | 0,49                                |                     |
| mai/20 | 16,73               | 75,42              | 18,32                             | 0,53                            | 5,35                              | -0,17                            | 0,07  | -0,13 | 18,1893                                         | -1,46 | 18,1893                                         | -1,46                               |                     |
| jun/20 | 18,39               | 78,54              | 18,55                             | 3,58                            | 5,04                              | -0,41                            | 0,04  | -0,11 | 19,1328                                         | -0,75 | 19,1328                                         | -0,75                               |                     |
| jul/20 | 17,39               | 75,43              | 19,35                             | 0,32                            | 5,65                              | -0,17                            | -0,05 | -0,36 | 17,9901                                         | -0,60 | 17,9901                                         | -0,60                               |                     |
| ago/20 | 16,54               | 79,68              | 18,04                             | 2,57                            | 4,96                              | -0,5                             | 0,1   | 0,17  | 18,8712                                         | -2,34 | 18,8712                                         | -2,34                               |                     |
| set/20 | 20,56               | 74,97              | 24,57                             | 1,05                            | 5,55                              | -0,14                            | -0,71 | -0,28 | 17,4105                                         | 3,15  | 17,4105                                         | 3,15                                |                     |
| out/20 | 20,41               | 78,97              | 18,95                             | 6,84                            | 5,66                              | -0,44                            | 0     | -0,37 | 20,0898                                         | 0,32  | 20,0898                                         | 0,32                                |                     |
| nov/20 | 19,72               | 80,74              | 13,82                             | 4,38                            | 5,57                              | -0,58                            | 0,63  | -0,3  | 20,0907                                         | -0,37 | 20,0907                                         | -0,37                               |                     |
| dez/20 | 22,17               | 81,60              | 11,49                             | 7,87                            | 6,17                              | -0,65                            | 0,92  | -0,76 | 21,5568                                         | 0,62  | 21,5568                                         | 0,62                                |                     |
| jan/21 | 23,38               | 80,09              | 15,37                             | 6,74                            | 5,50                              | -0,53                            | 0,44  | -0,24 | 20,6052                                         | 2,77  | 20,6052                                         | 2,77                                |                     |
| fev/21 | 22,00               | 81,57              | 13,57                             | 13,06                           | 5,57                              | -0,65                            | 0,66  | -0,29 | 22,8366                                         | -0,84 | 22,8366                                         | -0,84                               |                     |
| mar/21 | 22,62               | 80,21              | 15,95                             | 5,92                            | 4,78                              | -0,54                            | 0,36  | 0,31  | 20,2488                                         | 2,37  | 20,2488                                         | 2,37                                |                     |
| abr/21 | 19,05               | 80,81              | 11,36                             | 2,59                            | 5,19                              | -0,59                            | 0,94  | 0     | 19,9302                                         | -0,88 | 19,9302                                         | -0,88                               |                     |
| mai/21 | 17,45               | 79,28              | 19,77                             | 1,78                            | 4,83                              | -0,47                            | -0,11 | 0,27  | 18,3807                                         | -0,93 | 18,3807                                         | -0,93                               |                     |
| jun/21 | 16,43               | 82,17              | 17,69                             | 0,43                            | 4,60                              | -0,69                            | 0,14  | 0,45  | 18,2496                                         | -1,82 | 18,2496                                         | -1,82                               |                     |
| jul/21 | 14,42               | 74,38              | 22,31                             | 1,45                            | 4,90                              | -0,09                            | -0,43 | 0,22  | 17,8839                                         | -3,47 | 17,8839                                         | -3,47                               |                     |
| ago/21 | 17,33               | 74,63              | 22,83                             | 1,25                            | 5,35                              | -0,11                            | -0,49 | -0,12 | 17,7327                                         | -0,40 | 17,7327                                         | -0,40                               |                     |
| set/21 | 19,66               | 76,23              | 21,23                             | 0,66                            | 5,68                              | -0,23                            | -0,29 | -0,37 | 17,7981                                         | 1,87  | 17,7981                                         | 1,87                                |                     |
| out/21 | 18,09               | 86,11              | 12,48                             | 5,60                            | 6,09                              | -1                               | 0,8   | -0,7  | 20,6868                                         | -2,60 | 20,6868                                         | -2,60                               |                     |
| nov/21 | 19,72               | 78,01              | 13,95                             | 5,06                            | 6,26                              | -0,37                            | 0,61  | -0,83 | 20,2725                                         | -0,55 | 20,2725                                         | -0,55                               |                     |
| dez/21 | 20,59               | 80,70              | 12,44                             | 3,13                            | 5,74                              | -0,58                            | 0,8   | -0,43 | 19,9128                                         | 0,68  | 19,9128                                         | 0,68                                |                     |
| jan/22 | 22,28               | 83,73              | 15,64                             | 11,62                           | 4,50                              | -0,81                            | 0,4   | 0,53  | 22,0524                                         | 0,23  | 22,0524                                         | 0,23                                |                     |
| fev/22 | 22,33               | 79,10              | 15,76                             | 2,23                            | 5,20                              | -0,45                            | 0,39  | -0,16 | 19,1247                                         | 3,21  | 19,1247                                         | 3,21                                |                     |
| mar/22 | 22,98               | 80,48              | 15,71                             | 12,02                           | 5,40                              | -0,56                            | 0,39  | -0,08 | 22,1691                                         | 0,81  | 22,1691                                         | 0,81                                |                     |
| abr/22 | 20,28               | 80,70              | 15,77                             | 1,03                            | 5,30                              | -0,58                            | 0,39  | -0,09 | 18,7635                                         | 1,52  | 18,7635                                         | 1,52                                |                     |
| mai/22 | 16,93               | 77,26              | 15,84                             | 1,66                            | 5,90                              | -0,31                            | 0,38  | -0,55 | 18,9318                                         | -2,00 | 18,9318                                         | -2,00                               |                     |
| jun/22 | 16,16               | 81,68              | 16,10                             | 1,19                            | 4,20                              | -0,65                            | 0,35  | 0,76  | 18,7659                                         | -2,60 | 18,7659                                         | -2,60                               |                     |
| jul/22 | 17,70               | 72,25              | 16,43                             | 0,20                            | 5,10                              | 0,06                             | 0,3   | 0,06  | 18,3948                                         | -0,69 | 18,3948                                         | -0,69                               |                     |
| ago/22 | 16,25               | 76,85              | 15,89                             | 1,51                            | 6,40                              | -0,28                            | 0,37  | 0,36  | 18,8679                                         | -2,62 | 18,8679                                         | -2,62                               |                     |
| set/22 | 15,96               | 82,45              | 15,86                             | 4,96                            | 6,20                              | -0,71                            | 0,38  | -0,94 | 19,9638                                         | -4,00 | 19,9638                                         | -4,00                               |                     |
| out/22 | 19,96               | 80,64              | 15,70                             | 3,65                            | 6,00                              | -0,57                            | 0,39  | -0,63 | 19,5633                                         | 0,40  | 19,5633                                         | 0,40                                |                     |
| nov/22 | 18,51               | 79,00              | 15,47                             | 5,19                            | 6,30                              | -0,45                            | 0,42  | -0,86 | 20,0904                                         | -1,58 | 20,0904                                         | -1,58                               |                     |
| dez/22 | 21,03               | 82,16              | 15,48                             | 7,62                            | 5,90                              | -0,69                            | 0,42  | -0,55 | 20,8644                                         | 0,17  | 20,8644                                         | 0,17                                |                     |
| jan/23 | 21,88               | 81,74              | 12,00                             | 8,66                            | 5,50                              | -0,66                            | 0,86  | -0,24 | 21,6944                                         | 0,19  | 21,6944                                         | 0,19                                |                     |
| fev/23 | 22,73               | 82,11              | 10,93                             | 14,13                           | 6,10                              | -0,69                            | 0,99  | -0,71 | 23,5779                                         | -0,85 | 23,5779                                         | -0,85                               |                     |
| mar/23 | 22,42               | 80,51              | 14,36                             | 8,93                            | 5,00                              | -0,56                            | 0,56  | -0,06 | 21,4236                                         | 1,00  | 21,4236                                         | 1,00                                |                     |
| abr/23 | 19,56               | 81,60              | 13,34                             | 2,76                            | 5,90                              | -0,65                            | 0,69  | -0,08 | 19,6743                                         | -0,09 | 19,6743                                         | -0,09                               |                     |
| mai/23 | 17,99               | 80,88              | 19,56                             | 1,44                            | 4,10                              | -0,59                            | -0,08 | 0,84  | 18,3144                                         | -0,33 | 18,3144                                         | -0,33                               |                     |
| jun/23 | 16,79               | 79,42              | 26,84                             | 0,91                            | 3,90                              | -0,48                            | -1    | 1     | 17,0022                                         | -0,21 | 17,0022                                         | -0,21                               |                     |
| jul/23 | 16,81               | 77,22              | 19,32                             | 0,35                            | 4,70                              | -0,31                            | -0,05 | 0,37  | 17,9901                                         | -1,18 | 17,9901                                         | -1,18                               |                     |
| ago/23 | 18,36               | 60,16              | 21,37                             | 1,23                            | 5,10                              | -0,31                            | -0,31 | 0,06  | 17,9541                                         | 0,40  | 17,9541                                         | 0,40                                |                     |
| set/23 | 21,32               | 74,25              | 19,81                             | 2,77                            | 6,88                              | -0,11                            | -0,11 | -0,4  | 18,6903                                         | 2,63  | 18,6903                                         | 2,63                                |                     |
| out/23 | 20,36               | 86,03              | 15,21                             | 7,81                            | 6,00                              | -0,99                            | 0,46  | -0,63 | 20,9652                                         | -0,60 | 20,9652                                         | -0,60                               |                     |
| nov/23 | 22,67               | 14,99              | 14,99                             | 6,63                            | 5,50                              | -0,31                            | 0,48  | -0,24 | 20,8802                                         | 1,99  | 20,8802                                         | 1,99                                |                     |
| dez/23 | 23,09               | 77,86              | 15,69                             | 3,55                            | 5,90                              | -0,36                            | 0,4   | -0,55 | 19,5498                                         | 3,54  | 19,5498                                         | 3,54                                |                     |
| XA     |                     | 60,16              | 10,93                             | 0,20                            | 3,90                              |                                  |       |       |                                                 |       |                                                 |                                     |                     |
| XB     |                     | 86,11              | 26,84                             | 16,67                           | 6,47                              |                                  |       |       |                                                 |       |                                                 |                                     |                     |

APÊNDICE E – PLANILHA DE DADOS “A3” PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO ESTATÍSTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

| Ano    | T MÉDIA MENSAL (°C) |       | U MÉDIA MENSAL (%) | EMIÇÃO DE POLUENTE MP2,5 (µg/m³) |       | Média Precipitações/Chuvas (mm) |       | Velocidade média dos ventos (m/s) |       | U MÉDIA MENSAL (%) Estandarizada |       | EMIÇÃO DE POLUENTE MP2,5 (µg/m³) Estandarizada |     | Média Precipitações/Chuvas (mm) Estandarizada |     | Velocidade média dos ventos (m/s) Estandarizada |  | T Estimado com o modelo obtido (°C) | Erro próximo a zero |
|--------|---------------------|-------|--------------------|----------------------------------|-------|---------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------|
|        | TAS                 | UAS   |                    | EPAS                             | PAS   | VAS                             | UAS   | EPAS                              | PAS   | VAS                              | EPAS  | PAS                                            | VAS | PAS                                           | VAS |                                                 |  |                                     |                     |
| jan/19 | 24,54               | 78,14 | 17,49              | 0,37                             | -0,12 | 1,73                            | -0,38 | -0,15                             | 0,24  | 21,858                           | 2,68  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| fev/19 | 22,45               | 81,82 | 11,92              | 0,64                             | 0,53  | 1,83                            | -0,56 | -0,88                             | 0,08  | 24,9456                          | -2,50 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mar/19 | 21,79               | 85,02 | 11,82              | 0,46                             | 0,72  | 1,90                            | -0,72 | -0,44                             | -0,03 | 22,9368                          | -1,15 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| abr/19 | 21,25               | 83,71 | 17,04              | 0,21                             | -0,65 | 1,97                            | -0,65 | 0,33                              | 0,33  | 20,0724                          | 1,17  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mai/19 | 18,69               | 83,98 | 18,69              | 0,12                             | -0,67 | 1,64                            | -0,67 | -0,26                             | 0,36  | 18,9862                          | -0,71 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jun/19 | 18,17               | 80,27 | 24,89              | 0,11                             | -0,48 | 1,48                            | -0,48 | 0,65                              | 0,64  | 19,3656                          | -0,71 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jul/19 | 16,13               | 77,55 | 23,40              | 0,15                             | -0,35 | 1,62                            | -0,35 | 0,52                              | 0,41  | 19,3656                          | -3,24 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| ago/19 | 16,57               | 79,30 | 18,67              | 0,02                             | -0,43 | 2,19                            | -0,43 | 0,94                              | -0,49 | 17,8032                          | -1,23 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| set/19 | 18,77               | 80,92 | 18,54              | 0,11                             | -0,24 | 2,15                            | -0,51 | 0,66                              | -0,42 | 18,8448                          | -0,07 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| out/19 | 20,49               | 80,21 | 16,12              | 0,05                             | -0,48 | 2,19                            | -0,48 | 0,85                              | -0,48 | 18,138                           | 2,35  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| nov/19 | 19,80               | 85,77 | 11,13              | 0,14                             | 0,63  | 2,39                            | -0,75 | 0,57                              | -0,8  | 19,1796                          | 0,62  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| dez/19 | 21,37               | 83,07 | 12,81              | 0,17                             | -0,62 | 2,01                            | -0,62 | 0,47                              | -0,19 | 19,5516                          | 1,82  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jan/20 | 22,18               | 82,33 | 11,69              | 0,33                             | -0,58 | 2,02                            | -0,58 | -0,03                             | -0,22 | 21,4116                          | 0,77  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| fev/20 | 21,22               | 87,69 | 9,39               | 0,47                             | 0,83  | 1,99                            | -0,85 | -0,46                             | -0,18 | 23,0112                          | -1,79 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mar/20 | 20,47               | 83,61 | 10,83              | 0,09                             | -0,65 | 2,15                            | -0,65 | 0,71                              | -0,42 | 18,6588                          | 1,81  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| abr/20 | 19,06               | 80,43 | 12,73              | 0,00                             | -0,49 | 1,94                            | -0,49 | 0,98                              | -0,44 | 17,6544                          | 1,40  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mai/20 | 16,90               | 76,58 | 19,14              | 0,02                             | -0,31 | 1,71                            | -0,31 | 0,93                              | 0,26  | 17,8404                          | -0,94 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jun/20 | 18,45               | 78,43 | 20,75              | 0,09                             | -0,39 | 1,25                            | -0,39 | 0,7                               | 0,99  | 18,696                           | -0,25 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jul/20 | 17,44               | 77,18 | 19,37              | 0,02                             | -0,33 | 1,83                            | -0,33 | 0,95                              | 0,77  | 17,766                           | -0,33 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| ago/20 | 16,47               | 82,13 | 16,86              | 0,11                             | -0,57 | 1,88                            | -0,57 | 0,65                              | 0,07  | 18,882                           | -2,41 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| set/20 | 20,16               | 78,74 | 21,59              | 0,03                             | -0,41 | 2,09                            | -0,41 | 0,92                              | -0,33 | 17,8776                          | 2,29  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| out/20 | 20,14               | 81,73 | 14,82              | 0,12                             | -0,55 | 2,03                            | -0,55 | 0,62                              | -0,24 | 18,9936                          | 1,14  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| nov/20 | 19,32               | 83,65 | 9,43               | 0,02                             | -0,65 | 2,22                            | -0,65 | 0,92                              | -0,53 | 17,8776                          | 1,44  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| dez/20 | 21,79               | 84,94 | 8,48               | 0,25                             | -0,71 | 2,06                            | -0,71 | 0,21                              | -0,28 | 20,5188                          | 1,27  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jan/21 | 23,13               | 83,57 | 12,12              | 0,35                             | -0,65 | 1,88                            | -0,65 | 0,51                              | 0     | 20,4816                          | 2,65  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| fev/21 | 21,84               | 84,02 | 11,36              | 0,32                             | -0,67 | 1,90                            | -0,67 | 0,6                               | -0,03 | 21,3                             | 0,54  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mar/21 | 22,44               | 83,53 | 12,77              | 0,17                             | -0,64 | 1,64                            | -0,64 | 0,93                              | 0,37  | 19,626                           | 2,82  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| abr/21 | 18,81               | 94,41 | 8,73               | 0,11                             | -0,69 | 2,16                            | -0,69 | 0,67                              | -0,44 | 18,8076                          | 0,00  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mai/21 | 17,53               | 75,78 | 16,48              | 0,06                             | -0,26 | 1,58                            | -0,26 | 0,79                              | 0,48  | 18,3612                          | -0,83 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jun/21 | 16,30               | 50,29 | 15,04              | 0,03                             | 0,99  | 1,56                            | 0,99  | 0,9                               | 0,5   | 17,952                           | -1,65 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jul/21 | 14,63               | 67,27 | 21,28              | 0,05                             | -0,57 | 1,70                            | -0,57 | 0,83                              | 0,28  | 18,2124                          | -3,58 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| ago/21 | 17,42               | 71,27 | 21,03              | 0,05                             | -0,54 | 1,92                            | -0,54 | 0,84                              | -0,05 | 18,1752                          | -0,75 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| set/21 | 19,03               | 78,99 | 18,04              | 0,04                             | -0,42 | 1,95                            | -0,42 | 0,88                              | -0,11 | 18,0264                          | 1,01  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| out/21 | 17,71               | 90,09 | 9,78               | 0,17                             | -0,97 | 2,25                            | -0,97 | 0,45                              | -0,59 | 19,626                           | -1,92 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| nov/21 | 19,26               | 82,49 | 10,40              | 0,14                             | -0,59 | 2,35                            | -0,59 | 0,55                              | -0,75 | 19,254                           | 0,00  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| dez/21 | 20,11               | 85,75 | 10,29              | 0,16                             | -0,75 | 1,88                            | -0,75 | 0,49                              | -0,16 | 19,4772                          | 0,63  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jan/22 | 22,11               | 87,78 | 11,68              | 0,32                             | -0,85 | 1,69                            | -0,85 | -0,01                             | 0,3   | 21,3372                          | 0,77  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| fev/22 | 21,96               | 84,65 | 12,34              | 0,13                             | -0,7  | 1,96                            | -0,7  | 0,58                              | -0,12 | 19,1424                          | 2,82  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mar/22 | 22,89               | 83,00 | 13,05              | 0,35                             | -0,62 | 1,82                            | -0,62 | 0,77                              | 0,09  | 21,5976                          | 1,30  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| abr/22 | 20,02               | 86,17 | 12,57              | 0,07                             | -0,77 | 1,99                            | -0,77 | 0,45                              | -0,17 | 18,4356                          | 1,58  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mai/22 | 17,02               | 81,53 | 16,51              | 0,00                             | -0,54 | 1,48                            | -0,54 | 0,98                              | 0,63  | 17,6544                          | -0,63 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jun/22 | 16,23               | 85,63 | 17,77              | 0,05                             | -0,15 | 1,75                            | -0,15 | 0,85                              | 0,2   | 18,138                           | -1,91 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jul/22 | 17,76               | 75,01 | 23,89              | 0,00                             | -0,88 | 1,78                            | -0,88 | 0,99                              | 0,16  | 17,6172                          | 0,14  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| ago/22 | 16,10               | 81,57 | 15,20              | 0,06                             | -0,55 | 2,28                            | -0,55 | 0,81                              | -0,63 | 18,2868                          | -2,19 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| set/22 | 15,67               | 87,55 | 11,74              | 0,13                             | -0,84 | 2,23                            | -0,84 | 0,58                              | -0,55 | 19,1424                          | -3,48 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| out/22 | 19,42               | 87,08 | 11,47              | 0,15                             | -0,82 | 2,10                            | -0,82 | 0,54                              | -0,35 | 19,2912                          | 0,13  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| nov/22 | 18,05               | 86,05 | 8,01               | 0,19                             | -0,77 | 2,51                            | -0,77 | 0,41                              | -0,99 | 19,7748                          | -1,72 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| dez/22 | 20,67               | 89,60 | 10,58              | 0,46                             | -0,95 | 2,15                            | -0,95 | -0,43                             | -0,42 | 22,8996                          | -2,23 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jan/23 | 21,65               | 88,95 | 11,01              | 0,28                             | -0,91 | 2,08                            | -0,91 | 0,13                              | -0,32 | 20,8164                          | 0,83  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| fev/23 | 22,49               | 88,65 | 9,52               | 0,40                             | -0,9  | 2,18                            | -0,9  | 0,82                              | -0,47 | 22,23                            | 0,26  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mar/23 | 22,27               | 87,87 | 13,52              | 0,30                             | -0,86 | 1,75                            | -0,86 | 0,34                              | 0,21  | 21,0396                          | 1,23  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| abr/23 | 19,32               | 80,61 | 10,15              | 0,16                             | -0,99 | 2,01                            | -0,99 | 0,74                              | -0,2  | 19,44                            | -0,12 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| mai/23 | 17,99               | 88,81 | 15,94              | 0,07                             | -0,91 | 1,59                            | -0,91 | 0,05                              | 0,46  | 18,4356                          | -0,45 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jun/23 | 14,70               | 69,62 | 20,50              | 0,06                             | -0,47 | 1,73                            | -0,47 | 0,8                               | 0,23  | 18,324                           | -3,63 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| jul/23 | 15,84               | 77,13 | 18,09              | 0,02                             | -0,33 | 1,85                            | -0,33 | 0,83                              | 0,04  | 17,8404                          | -2,00 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| ago/23 | 18,22               | 81,30 | 19,53              | 0,07                             | -0,53 | 2,03                            | -0,53 | 0,79                              | -0,24 | 18,3612                          | -0,15 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| set/23 | 20,79               | 80,44 | 17,54              | 0,13                             | -0,12 | 2,09                            | -0,49 | 0,59                              | -0,34 | 19,1052                          | 1,69  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| out/23 | 19,98               | 86,67 | 11,22              | 0,32                             | -0,8  | 2,11                            | -0,8  | 0                                 | -0,36 | 21,3                             | -1,32 |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| nov/23 | 22,27               | 77,89 | 14,69              | 0,22                             | -0,36 | 2,25                            | -0,36 | 0,2                               | -0,59 | 20,1096                          | 2,16  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| dez/23 | 22,62               | 79,74 | 14,04              | 0,15                             | -0,46 | 2,10                            | -0,46 | 0,53                              | -0,34 | 19,3284                          | 3,29  |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| XA     |                     |       | 8,01               | 0,00                             |       | 1,25                            |       |                                   |       |                                  |       |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |
| XB     |                     |       | 24,89              | 0,64                             |       | 2,51                            |       |                                   |       |                                  |       |                                                |     |                                               |     |                                                 |  |                                     |                     |

## APÊNDICE F – TABELAS GERADAS PELO SOFTWARE EVIEWS

| Dependent Variable: TAN                       |             |                       |             |                 |
|-----------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Method: Least Squares                         |             |                       |             |                 |
| Date: 10/01/24 Time: 15:20                    |             |                       |             |                 |
| Sample: 1 60                                  |             |                       |             |                 |
| Included observations: 60                     |             |                       |             |                 |
| TAN=C(1)+C(2)*UAN+C(3)*EPAN+C(4)*PAN+C(5)*VAN |             |                       |             |                 |
|                                               | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                          | 21.32879    | 0.558752              | 38.17218    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                          | 1.700826    | 0.737686              | 2.305622    | <b>0.0249</b>   |
| C(3)                                          | 2.120458    | 0.732154              | 2.896191    | <b>0.0054</b>   |
| C(4)                                          | -2.431819   | 0.662454              | -3.670927   | <b>0.0005</b>   |
| C(5)                                          | -0.057438   | 0.603050              | -0.095246   | <b>0.9245</b>   |
| R-squared                                     | 0.452834    | Mean dependent var    |             | 20.48150        |
| Adjusted R-squared                            | 0.413040    | S.D. dependent var    |             | 2.273553        |
| S.E. of regression                            | 1.741845    | Akaike info criterion |             | 4.027422        |
| Sum squared resid                             | 166.8713    | Schwarz criterion     |             | 4.201950        |
| Log likelihood                                | -115.8227   | F-statistic           |             | 11.37947        |
| Durbin-Watson stat                            | 1.669338    | Prob(F-statistic)     |             | <b>0.000001</b> |

| Dependent Variable: TAN              |             |                       |             |                 |
|--------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Method: Least Squares                |             |                       |             |                 |
| Date: 10/01/24 Time: 15:33           |             |                       |             |                 |
| Sample: 1 60                         |             |                       |             |                 |
| Included observations: 60            |             |                       |             |                 |
| TAN=C(1)+C(2)*UAN+C(3)*EPAN+C(4)*PAN |             |                       |             |                 |
|                                      | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                 | 21.35408    | 0.487273              | 43.82366    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                 | 1.710195    | 0.724601              | 2.360188    | <b>0.0218</b>   |
| C(3)                                 | 2.141849    | 0.690662              | 3.101153    | <b>0.0030</b>   |
| C(4)                                 | -2.433816   | 0.656237              | -3.708742   | <b>0.0005</b>   |
| R-squared                            | 0.452743    | Mean dependent var    |             | 20.48150        |
| Adjusted R-squared                   | 0.423426    | S.D. dependent var    |             | 2.273553        |
| S.E. of regression                   | 1.726365    | Akaike info criterion |             | 3.994253        |
| Sum squared resid                    | 166.8988    | Schwarz criterion     |             | 4.133876        |
| Log likelihood                       | -115.8276   | F-statistic           |             | 15.44287        |
| Durbin-Watson stat                   | 1.673561    | Prob(F-statistic)     |             | <b>0.000000</b> |

|                                |          |             |          |
|--------------------------------|----------|-------------|----------|
| White Heteroskedasticity Test: |          |             |          |
| F-statistic                    | 1.097468 | Probability | 0.376175 |
| Obs*R-squared                  | 6.630690 | Probability | 0.356354 |

| Dependent Variable: TASE                           |             |                       |             |                 |
|----------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Method: Least Squares                              |             |                       |             |                 |
| Date: 10/01/24 Time: 16:59                         |             |                       |             |                 |
| Sample: 1 60                                       |             |                       |             |                 |
| Included observations: 60                          |             |                       |             |                 |
| TASE=C(1)+C(2)*UASE+C(3)*EPASE+C(4)*PASE+C(5)*VASE |             |                       |             |                 |
|                                                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                               | 21.22009    | 0.649205              | 32.68626    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                               | 1.335354    | 0.984010              | 1.357053    | <b>0.1803</b>   |
| C(3)                                               | 1.601339    | 0.762737              | 2.099464    | <b>0.0404</b>   |
| C(4)                                               | -2.789826   | 0.582468              | -4.789662   | <b>0.0000</b>   |
| C(5)                                               | 0.079454    | 0.573163              | 0.138625    | <b>0.8903</b>   |
| R-squared                                          | 0.481428    | Mean dependent var    |             | 19.72883        |
| Adjusted R-squared                                 | 0.443714    | S.D. dependent var    |             | 2.421231        |
| S.E. of regression                                 | 1.805865    | Akaike info criterion |             | 4.099612        |
| Sum squared resid                                  | 179.3633    | Schwarz criterion     |             | 4.274141        |
| Log likelihood                                     | -117.9884   | F-statistic           |             | 12.76513        |
| Durbin-Watson stat                                 | 1.665878    | Prob(F-statistic)     |             | <b>0.000000</b> |

| Dependent variable: TASE       |                 |                       |             |                 |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Method: Least Squares          |                 |                       |             |                 |
| Date: 10/01/24 Time: 17:11     |                 |                       |             |                 |
| Sample: 1 60                   |                 |                       |             |                 |
| Included observations: 60      |                 |                       |             |                 |
| TASE=C(1)+C(2)*EPASE+C(3)*PASE |                 |                       |             |                 |
|                                | Coefficient     | Std. Error            | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                           | 20.58471        | 0.450003              | 45.74348    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                           | 1.231372        | 0.640276              | 1.923189    | <b>0.0595</b>   |
| C(3)                           | -2.583641       | 0.561206              | -4.603727   | <b>0.0000</b>   |
| R-squared                      | <b>0.463869</b> | Mean dependent var    |             | 19.72883        |
| Adjusted R-squared             | 0.445057        | S.D. dependent var    |             | 2.421231        |
| S.E. of regression             | 1.803684        | Akaike info criterion |             | 4.066246        |
| Sum squared resid              | 185.4367        | Schwarz criterion     |             | 4.170963        |
| Log likelihood                 | -118.9874       | F-statistic           |             | 24.65861        |
| Durbin-Watson stat             | 1.672486        | Prob(F-statistic)     |             | <b>0.000000</b> |

|                                |          |             |          |
|--------------------------------|----------|-------------|----------|
| White Heteroskedasticity Test: |          |             |          |
| F-statistic                    | 0.586114 | Probability | 0.674025 |
| Obs*R-squared                  | 2.453026 | Probability | 0.653067 |

| Dependent Variable: TAS                       |             |                       |             |                 |
|-----------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Method: Least Squares                         |             |                       |             |                 |
| Date: 10/01/24 Time: 19:53                    |             |                       |             |                 |
| Sample: 1 60                                  |             |                       |             |                 |
| Included observations: 60                     |             |                       |             |                 |
| TAS=C(1)+C(2)*UAS+C(3)*EPAS+C(4)*PAS+C(5)*VAS |             |                       |             |                 |
|                                               | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                                          | 20.33467    | 0.683346              | 29.75751    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                                          | -0.892903   | 0.911271              | -0.979844   | <b>0.3315</b>   |
| C(3)                                          | 0.763218    | 0.679392              | 1.123384    | <b>0.2662</b>   |
| C(4)                                          | -3.024277   | 0.646538              | -4.677645   | <b>0.0000</b>   |
| C(5)                                          | 0.247779    | 0.715844              | 0.346135    | <b>0.7306</b>   |
| R-squared                                     | 0.493202    | Mean dependent var    |             | 19.48167        |
| Adjusted R-squared                            | 0.456344    | S.D. dependent var    |             | 2.389427        |
| S.E. of regression                            | 1.761797    | Akaike info criterion |             | 4.050200        |
| Sum squared resid                             | 170.7160    | Schwarz criterion     |             | 4.224729        |
| Log likelihood                                | -116.5060   | F-statistic           |             | 13.38113        |
| Durbin-Watson stat                            | 1.549935    | Prob(F-statistic)     |             | <b>0.000000</b> |

| Dependent Variable: TAS    |                 |                       |             |                 |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------|-----------------|
| Method: Least Squares      |                 |                       |             |                 |
| Date: 10/01/24 Time: 19:59 |                 |                       |             |                 |
| Sample: 1 60               |                 |                       |             |                 |
| Included observations: 60  |                 |                       |             |                 |
| TAS=C(1)+C(2)*PAS          |                 |                       |             |                 |
|                            | Coefficient     | Std. Error            | t-Statistic | Prob.           |
| C(1)                       | 21.30385        | 0.347319              | 61.33792    | <b>0.0000</b>   |
| C(2)                       | -3.721264       | 0.532766              | -6.984805   | <b>0.0000</b>   |
| R-squared                  | <b>0.456865</b> | Mean dependent var    |             | 19.48167        |
| Adjusted R-squared         | 0.447501        | S.D. dependent var    |             | 2.389427        |
| S.E. of regression         | 1.776068        | Akaike info criterion |             | 4.019446        |
| Sum squared resid          | 182.9561        | Schwarz criterion     |             | 4.089257        |
| Log likelihood             | -118.5834       | F-statistic           |             | 48.78750        |
| Durbin-Watson stat         | 1.403856        | Prob(F-statistic)     |             | <b>0.000000</b> |

|                                |          |             |          |
|--------------------------------|----------|-------------|----------|
| White Heteroskedasticity Test: |          |             |          |
| F-statistic                    | 0.041787 | Probability | 0.959103 |
| Obs*R-squared                  | 0.087844 | Probability | 0.957029 |

|                               |             |                       |             |          |
|-------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|----------|
| Dependent Variable: T         |             |                       |             |          |
| Method: Least Squares         |             |                       |             |          |
| Date: 10/03/24 Time: 15:12    |             |                       |             |          |
| Sample: 1 180                 |             |                       |             |          |
| Included observations: 180    |             |                       |             |          |
| T=C(1)+C(2)*U+C(3)*EP+C(4)*PT |             |                       |             |          |
|                               | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.    |
| C(1)                          | 20.64300    | 0.414568              | 49.79398    | 0.0000   |
| C(2)                          | 1.334986    | 0.432449              | 3.087036    | 0.0023   |
| C(3)                          | 3.513369    | 0.437044              | 8.038939    | 0.0000   |
| C(4)                          | -1.746440   | 0.410471              | -4.254723   | 0.0000   |
| R-squared                     | 0.322628    | Mean dependent var    |             | 19.89733 |
| Adjusted R-squared            | 0.311081    | S.D. dependent var    |             | 2.387409 |
| S.E. of regression            | 1.981576    | Akaike info criterion |             | 4.227634 |
| Sum squared resid             | 691.0895    | Schwarz criterion     |             | 4.298589 |
| Log likelihood                | -376.4871   | F-statistic           |             | 27.94250 |
| Durbin-Watson stat            | 1.238479    | Prob(F-statistic)     |             | 0.000000 |

|                                |          |             |          |
|--------------------------------|----------|-------------|----------|
| White Heteroskedasticity Test: |          |             |          |
| F-statistic                    | 1.949824 | Probability | 0.058097 |
| Obs*R-squared                  | 16.84213 | Probability | 0.051246 |