



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

ISABELA CHIQUITO PERSONA

**AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA NA DIREÇÃO SUL-OESTE DE CUIABÁ/MT:
ESTUDO DE ILHA DE CALOR DA ZONA URBANA À ZONA RURAL**

**CUIABÁ - MT
2026**

ISABELA CHIQUITO PERSONA

**AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA NA DIREÇÃO SUL-OESTE DE CUIABÁ/MT:
ESTUDO DE ILHA DE CALOR DA ZONA URBANA À ZONA RURAL**

Dissertação apresentada ao programa Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito para a obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira

**CUIABÁ - MT
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P467a Persona, Isabela Chiquito.

Avaliação do microclima na direção sul-oeste de Cuiabá/MT: estudo de ilha de calor da zona urbana à zona rural [recurso eletrônico] / Isabela Chiquito Persona. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 71 f., il. color., pdf). - 2026.

Orientadora: Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2026.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Análise microclimática. 2. Variação termo-higrométrica. 3. Cobertura vegetal. I. Nogueira, Marta Cristina de Jesus Albuquerque, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA NA DIREÇÃO SUL-OESTE DE CUIABÁ/MT:
ESTUDO DE ILHA DE CALOR DA ZONA URBANA À ZONA RURAL**

AUTORA: MESTRANDA ISABELA CHIQUITO PERSONA

Dissertação defendida e aprovada em **23** de **FEVEREIRO** de **2026**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

**1. PROFA. DRA. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA [Presidente
Banca / Orientadora]**

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. PROFA. DRA. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS [Examinadora Interna]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. PROFA. DRA. ANGELA SANTANA DE OLIVEIRA [Examinadora Externa]

INSTITUIÇÃO: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO GROSSO

4. PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS [Examinador Externo]

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE DE CUIABÁ

CUIABÁ, 23/02/2026.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 02/03/2026, às 15:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/03/2026, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 02/03/2026, às 18:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Angela Santana de Oliveira**, **Usuário Externo**, em 02/03/2026, às 20:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLO RALPH DE MUSIS**, **Usuário Externo**, em 02/03/2026, às 23:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **8919204** e o código CRC **194E8B68**.

Dedico este trabalho a Deus,
e a minha querida família!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Senhor, criador do universo, por me conceder a oportunidade de apreciar a vida, aprender e evoluir.

À minha família, especialmente à minha tia Sumaya, que me mostrou o caminho das palavras e da sabedoria.

Ao meu querido pai, que abdicou de muito do seu tempo por mim, sempre escuta ativa, carinho e disposição para aprender.

Ao Gabriel Oro, por todos os anos juntos. Seu apoio, carinho e participação ativa na coleta de dados da pesquisa fizeram e são parte da minha história.

À minha mãe, à minha avó Rosa e à minha tia Rosana, que me acolheram e me incentivaram na realização deste trabalho;

À Professora Doutora Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelas orientações, incentivo e apoio. Sua confiança em mim foi fundamental para a realização deste trabalho. Levarei em meu coração as incríveis aulas que tive na Pós-Graduação e no estágio da Graduação, nas disciplinas de Materiais e Técnicas Construtivas I e II, do curso de Arquitetura e Urbanismo. A participação ativa dos alunos, as trocas de conhecimento, as visitas técnicas e a minha participação nas aulas, me fortaleceram como pessoa e como profissional.

Ao Professor Doutor Carlo Ralph De Musis, pelos conselhos, direcionamentos, apoio, aprendizado e ajuda. Sua escuta sincera me acalmou, e sua participação ativa no trabalho me norteou e me mostrou como o conhecimento técnico em diversas áreas faz toda diferença.

A TODOS os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, que contribuíram para meu aprendizado. Em especial, ao Professor Doutor Paulo Henrique Zanella de Arruda, que me ajudou na calibração dos equipamentos e às Professoras Doutoras Flávia Maria de Moura Santos e Luciana Sanches, que agregaram muito conhecimento para minha formação;

À Soilce Carrilho e ao Flair Carrilho Sobrinho, pela contribuição técnica dentro do Programa de Pós-Graduação;

Aos colegas do programa de Pós-Graduação - Hilma Magalhaes de Oliveira, Amanda de Oliveira de Jesus, Madson de Amorim, André Matheus de Souza Lima, Andreia Gomes Furtado Aguillera, Emily Watanabe, Admilson Junior Leite - que me ajudaram ao longo desses dois anos, tornando-nos grandes amigos;

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

(Conhecereis a verdade e a verdade vos libertará – João 8:32)

RESUMO

O crescimento urbano acelerado e a substituição da paisagem natural por superfícies impermeáveis têm provocado alterações significativas no microclima das cidades, intensificando a formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICU) e comprometendo o conforto térmico da população. Diante desse contexto, esta dissertação teve como objetivo avaliar o comportamento microclimático na direção sul-oeste do município de Cuiabá/MT, analisando a intensidade das ilhas de calor e de frescor ao longo de um gradiente que se estende da zona urbana à zona rural. A metodologia baseou-se na técnica do transecto móvel, com medições simultâneas de temperatura e umidade relativa do ar, associadas aos dados de uma estação meteorológica fixa de referência, georreferenciamento por GPS e análises estatísticas e geostatísticas. Os dados foram analisados em duas escalas: o trajeto integral e o recorte específico da Bacia do Ribeirão do Lipa, permitindo a comparação entre diferentes padrões de uso e ocupação do solo. Os resultados indicaram que a área urbana apresenta, em média, temperaturas 2,37 °C superiores às áreas rurais, com intensidades máximas de ICU que atingiram até 9,44 °C em situações críticas, sobretudo no período seco. Observou-se forte relação entre a elevada proporção de superfícies impermeáveis e o aumento da temperatura do ar, enquanto áreas com maior cobertura vegetal apresentaram efeito atenuante, associado ao sombreamento e à evapotranspiração. Conclui-se que as alterações microclimáticas identificadas são diretamente influenciadas pelo padrão de urbanização e pela perda de áreas verdes, evidenciando a necessidade de políticas públicas e estratégias de planejamento urbano que incorporem infraestrutura verde como instrumento de mitigação das ilhas de calor e promoção da qualidade ambiental urbana. O estudo contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, especialmente o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e o ODS 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes), ao fornecer subsídios técnicos para o planejamento urbano sustentável, a integração de medidas climáticas às políticas públicas e o fortalecimento da governança ambiental municipal.

Palavras-chave: análise microclimática; variação termo-higrométrica; cobertura vegetal.

ABSTRACT

Accelerated urban growth and the replacement of natural landscapes by impermeable surfaces have caused significant changes in the urban microclimate, intensifying the formation of Urban Heat Islands (UHI) and compromising thermal comfort. In this context, this dissertation aimed to evaluate the microclimatic behavior along the southwest direction of the city of Cuiabá, Mato Grosso, Brazil, by analyzing the intensity of heat and cool islands along a gradient from urban to rural areas. The methodology was based on the mobile transect technique, with simultaneous measurements of air temperature and relative humidity, combined with data from a fixed reference meteorological station, GPS georeferencing, and statistical and geostatistical analyses. The data were examined at two spatial scales: the entire transect and a specific section corresponding to the Ribeirão do Lipa watershed, allowing comparisons between different land use and land cover patterns. The results indicated that the urban area presents, on average, air temperatures 2.37 °C higher than those observed in rural areas, with maximum UHI intensities reaching up to 9.44 °C under critical conditions, especially during the dry season. A strong relationship was observed between the high proportion of impermeable surfaces and increased air temperature, whereas areas with greater vegetation cover exhibited an attenuating effect associated with shading and evapotranspiration. It is concluded that the microclimatic alterations identified are directly influenced by urbanization patterns and the loss of green areas, highlighting the need for public policies and urban planning strategies that incorporate green infrastructure as a key instrument for mitigating urban heat islands and improving urban environmental quality. This study directly contributes to the Sustainable Development Goals (SDGs) established by the United Nations, particularly SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 13 (Climate Action), and SDG 16 (Peace, Justice and Strong Institutions), by providing technical support for sustainable urban planning, the integration of climate measures into public policies, and the strengthening of municipal environmental governance.

Keywords: microclimatic analysis; thermo-hygrometric variation; vegetation cover.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Distribuição Espacial das Principais Escalas Microclimáticas.	17
Quadro 2 - Tipos de Ilha de Calor e Seus Efeitos Locais.....	20
Figura 1 - Fluxograma Metodológico da Pesquisa.....	34
Figura 2 - Caracterização dos Biomas em Mato Grosso	36
Figura 3 - Localização do Município de Cuiabá-MT	37
Figura 4 - Comparativo de Temperatura e Umidade (Normais 1931-2020)	38
Figura 5 - Localização dos Pontos Fixos de Coleta e Setorização do Transecto Móvel.....	39
Figura 6 - Bairros da Bacia do Ribeirão do Lipa.....	41
Figura 7 - Desenho Esquemático de Coleta de Dados por Transecto Móvel.....	43
Figura 8 - Mapa de Localização da Estação Fixa de Referência.....	46
Figura 9 – Fluxograma - Detalhamento Estatístico dos Dados	47
Figura 10 – Boxplot – Distribuição da Intensidade das ICU Por Mês	53
Figura 11 - Variabilidade Espacial da ICU em Função da Distância.....	55
Figura 12 - Interpolação Espacial Da ICU por Krigagem Ordinária.....	56
Figura 13 - Espacialização Georreferenciada.....	57
Figura 14 - Espacialização das Ilhas de Frescor e Calor	58
Figura 15 - Espacialização das Ilhas de Calor	59
Figura 16 - Temperaturas Máximas e Mínimas dos Pontos de Coleta da Bacia	60
Figura 17 - Porção Urbana 1.....	61
Figura 18 - Porção Urbana 2.....	61
Figura 19 - Porção Urbana 3.....	62

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Cronograma do Transecto com Todos os Dias Coletados	44
Tabela 2 - Resumo da Análise Estatística Descritiva	50
Tabela 3 - Análise Estatística Quanto a Sazonalidade	51
Tabela 4 - Resultados da Aplicação do Teste de Shapiro-Wilk	51
Tabela 5 - Resultados da Aplicação do Teste de Kruskal-Wallis.....	52
Tabela 6 - Resultados da Aplicação do Teste de Dunn com Correção de Bonferroni	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	15
1.2 Objetivo Específico.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Escalas de Abordagem do Clima	16
2.2 Clima Urbano	17
2.2.1 <i>Contexto Histórico</i>	17
2.3 Conceitos de Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	19
2.4 Anomalias Térmicas: Ilhas de Calor e Frescor	19
2.4.1 <i>Ilhas de Calor Urbanas (ICU)</i>	21
2.4.2 <i>Tipos de Ilhas de Calor Urbanas</i>	22
2.4.3 <i>Magnitudes e Consequências das Ilhas de Calor</i>	22
2.5 Estratégias de Mitigação das Ilhas de Calor.....	23
2.5.1 <i>O Papel da Vegetação na Atenuação do Microclima</i>	23
2.5.2 <i>Estratégias de Engenharia e Planejamento Urbano</i>	25
2.6 Estudos de Caso sobre Ilhas de Calor e Clima Urbano.....	27
2.6.1 <i>Consequências na Saúde e Poluição Atmosférica</i>	27
2.6.2 <i>Relação entre Urbanização, Uso do Solo e ICU</i>	28
2.6.3 <i>Metodologias de Análise - Transectos Móveis e Modelagem.....</i>	31
2.6.4 <i>Síntese da Revisão.....</i>	32
3. MATERIAL E MÉTODO	34
3.1 Caracterização da Área de Estudo	35
3.1.1 <i>Caracterização do Trajeto do Estudo</i>	38
3.1.2 <i>Caracterização da Bacia do Ribeirão do Lipa</i>	40
3.2 Procedimentos de Coleta de Dados.....	42
3.2.1 <i>Coleta dos Dados por Transecto Móvel.....</i>	42
3.2.2 <i>Estação Meteorológica Fixa</i>	45
3.2.3 <i>Processamento e Tratamento dos Dados</i>	47
3.2.4 <i>Análise Estatística.....</i>	48
3.2.5 <i>Análise Geoestatística.....</i>	49
3.2.6 <i>Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Lipa</i>	49
4. RESULTADO E DISCUSSÃO DOS DADOS	50

4.1	Análise do Trajeto Integral	50
4.1.1	<i>Estatísticas Descritivas da Intensidade da ICU e IFU</i>	<i>50</i>
4.1.2	<i>Análise Visual da Distribuição dos Dados</i>	<i>53</i>
4.1.3	<i>Análise Geoestatística e Espacialização da ICU.....</i>	<i>55</i>
4.2	Análise dos Dados da Bacia do Ribeirão do Lipa	59
5.	CONCLUSÃO	63
6.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
7.	REFERÊNCIAS	66

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades, aliado ao adensamento dos centros urbanos, tem provocado a supressão e a substituição da paisagem natural por superfícies artificiais. Esse processo interfere diretamente no microclima local, uma vez que as diferentes morfologias urbanas são constituídas de materiais que apresentam propriedades de impermeabilidade, como por exemplo, o concreto e o asfalto. Tais materiais armazenam e emitem energia, contribuindo para o balanço térmico local. Isso influencia diretamente a sensação térmica e, consequentemente, o conforto dos habitantes (Ribeiro, 2019).

Segundo Oke (1987), a retirada da vegetação modifica as propriedades da superfície e altera os balanços de massa, energia e água. A redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial potencializam as trocas de calor sensível, o que colabora com o aquecimento local, culminando nas ilhas de calor urbano. Além disso, essas alterações influenciam o ciclo hidrológico, reduzindo a evaporação e a transpiração das plantas, o que resulta em maiores volumes de água escoando pela superfície (De Oliveira, 2023).

Nessa perspectiva, Souza et al. (2020) destacam que a configuração do espaço citadino, associada aos elementos climáticos como temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação, pode influenciar o ganho térmico das cidades e o bem-estar coletivo, bem como na valorização e desvalorização de imóveis, afetando o mercado imobiliário (Rosen, 1974).

Diante dessas alterações, a busca pelo entendimento das consequências da urbanização sobre a qualidade ambiental do espaço urbano tem se intensificado, visto que a densidade demográfica do meio citadino está em ascensão. Entre os inúmeros efeitos associados a esse processo, as alterações climáticas são consideradas uma das mais relevantes. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas, divulgados em UNRIC (2025), até o ano de 2050 estima-se que, aproximadamente, 70% da população mundial viverá nas cidades e que parte dela poderá enfrentar acréscimos de temperatura de até 0,5°C. No Brasil, para o mesmo período, a previsão é de que 90% das pessoas residam em áreas urbanas.

As pesquisas apontam um cenário preocupante em países como o Brasil, onde o crescimento urbano ocorreu de forma acelerada e desordenada, resultando em profundas desigualdades e em uma expansão territorial desequilibrada (Souza; Terra, 2017). A ausência de um planejamento urbano eficiente favorece a formação de regiões com infraestrutura precária e serviços insuficiente, agravando as disparidades sociais e territoriais nos centros urbanos.

De forma análoga a outras cidades brasileiras, o crescimento acelerado da população em Cuiabá gerou uma demanda habitacional superior à capacidade do município de oferecer infraestrutura e serviços públicos adequados. Esse processo comprometeu a qualidade dos espaços urbanos e áreas verdes, além de intensificar o uso desordenado do solo e o aumento do adensamento populacional em locais sem infraestrutura, incluindo ocupações irregulares, como no caso da Bacia do Ribeirão do Lipa (Dias; Gomes; Alkmim, 2011).

Entre os principais elementos associados à qualidade ambiental da população cuiabana, o conforto térmico destaca-se como um dos mais relevantes. A cidade apresenta registros de altas temperaturas ao longo de todo o ano, em função de suas características climáticas e geomorfológicas associadas a elevada densidade populacional e ao intenso tráfego de veículos. Essas condições favorecem a ocorrência de problemas ambientais e saúde pública, como a proliferação de doenças virais, a exemplo da dengue e da zika, além do aumento na demanda energética (De Azevedo et al., 2018; Romero Rodríguez et al., 2020).

Diante deste cenário, de alcance mundial e reflexos locais, faz-se necessário investigar de que forma o crescimento urbano potencializa as alterações microclimáticas e em que medida é possível mitigar esses efeitos de modo a proporcionar conforto e qualidade de vida à população. Nesse contexto, a atuação do poder público torna-se essencial, por meio da implementação e fiscalização de instrumentos legais, como a Lei Complementar nº 389, de 03 de novembro de 2015, que dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo (Cuiabá, 2015) e a Lei Complementar nº 516, de 16 de junho de 2022, referente ao Código de Obras de Cuiabá (Cuiabá, 2022).

Paralelamente, os estudos de clima urbano desempenham um papel fundamental no embasamento técnico e científico para formulação, revisão e aprimoramento dessas legislações. Apesar da criação de normas e intervenções governamentais, o problema persiste. Ainda assim, a mitigação dos impactos negativos das ilhas de calor urbanas tem sido incentivada pelo planejamento urbano por meio de ações como o plantio de vegetação, o uso de telhados verdes ou reflexivos, a melhoria da ventilação e diversas outras estratégias que visam contribuir para a qualidade ambiental das cidades.

Portanto, a compreensão do ambiente urbano torna-se urgente para assegurar melhores condições ambientais e qualidade de vida à população, especialmente em cidades em constante expansão, como Cuiabá, onde o planejamento urbano deve atuar de forma ágil e eficaz.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a evolução do microclima no sentido sul-oeste da cidade de Cuiabá/MT, analisando a transição das ilhas de calor em áreas urbanas para áreas rurais.

1.2 Objetivo Específico

- a) Identificar e espacializar as Ilhas de Calor (ICU) e de Frescor (IFU) ao longo do trajeto;
- b) Caracterizar a variação termo-higrométrica por estação do ano;
- c) Analisar a influência da cobertura vegetal ao longo do trajeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Escalas de Abordagem do Clima

A meteorologia é uma área que abrange diversas atividades humanas, por isso, em 1951, foi criada a Organização Meteorológica Mundial (OMM), com a finalidade de coordenar as atividades meteorológicas no mundo, em que conta com a participação ativa de aproximadamente 200 países. No Brasil, conforme Nogueira e Fernandes (2005), destacam-se os serviços de agricultura comandado pelo órgão oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (2024), INMET, que é o principal representante do país, seguidos do Ministério da Ciência e Tecnologia CPTEC/INPE e Ministério da Defesa com a Marinha e Aeronáutica.

Estes órgãos são responsáveis pela implantação dos equipamentos, da leitura dos dados meteorológicos e estudo do tempo e clima. O clima e tempo são definidos pelas mesmas variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, vento, nebulosidade, pressão atmosférica, que podem ser influenciados por fatores climáticos como relevo, latitude, altitude, vegetação e outros fatores. O que os difere são os períodos analisados. Enquanto o tempo é analisado diariamente, o clima compacta os dados do tempo ao longo de períodos superiores a 30 anos.

O estudo do clima é chamado de climatologia. Segundo Ayoade (1996), o filósofo grego Hipócrates foi o pioneiro ao escrever sobre o tema em sua obra “ar, água e locais” 400 a.C. Os gregos acreditavam que as variações climáticas das regiões aconteciam somente de norte para o sul, mas com o passar dos séculos descobriu-se que essa variação acontecia não somente nas latitudes, mas também pela circulação de ar em áreas irregulares como continentes e oceanos. E então para melhor entendimento da distribuição espacial latitudinal do clima ele foi dividido em escalas, que são fundamentais para delimitar o foco de uma análise climática. Para Oke et al. (2017) tais escalas são:

Macroescala: analisa fenômenos de dimensão continental ou global ($X > 2.000\text{km}$), influenciados por fatores como latitude, correntes oceânicas e padrões de circulação de massas de ar.¹

¹ No livro Psicologia Financeira, Morgan Housel (2021) relata a história de Milutin Milankovitch, um cientista sérvio que, no início do século XX, desenvolveu uma teoria capaz de explicar o funcionamento das eras glaciais no planeta Terra. Sua teoria demonstrou que variações na inclinação do eixo terrestre, causadas pela interação gravitacional com o Sol e a Lua, alteram a distribuição de radiação solar e desencadeiam períodos glaciais. O meteorologista Wladimir Köppen aprimorou essa teoria, observando que verões mais amenos, e não invernos mais rigorosos, eram o gatilho principal, pois não eram capazes de derreter o gelo acumulado no inverno anterior. O

Mesoescala: estuda fenômenos que ocorrem em áreas de 10 a 100 km, como brisas marítimas e terrestres ou os efeitos climáticos gerados por cadeias de montanhas, dando origem aos chamados topoclimas, (que são variações climáticas regionais induzidas pelo relevo).

Microescala: concentra-se em áreas muito pequenas ($X < 1\text{km}$), onde fatores locais como a presença de vegetação, corpos d'água e, principalmente, as características da superfície (materiais construtivos e geometria), são determinantes.

Esta pesquisa concentra-se na análise do mesoclima da cidade e, de forma mais detalhada, no microclima. Para uma melhor visualização dessa distribuição espacial utiliza-se o Quadro 1.

Quadro 1 - Distribuição Espacial das Principais Escalas Microclimáticas.

Escala	Extensão	Características Analisadas	Exemplo
Macroescala	$X > 2.000\text{ km}$	Latitude, correntes oceânicas e padrões de circulação de massas de ar	Mundo
Mesoescala	$10\text{ km} < X < 100\text{ km}$	Brisas marítimas e terrestres, efeitos climáticos	Cidade
Local	$1\text{km} < X < 10\text{ km}$	Cobertura do solo	Bairros
Microescala	$X < 1\text{ km}$	Materiais construtivos, objetos, temperatura do ar e superficial.	Edifícios, estradas, pátios

Fonte: Adaptado de Silveira (2007) com base em Oke, (2004)

2.2 Clima Urbano

2.2.1 Contexto Histórico

Nince (2013) faz uma retrospectiva do clima urbano e do histórico dos estudos de conforto. Por meio de sua pesquisa evidenciou que a primeira publicação referente a clima urbano foi de Luke Howard, na cidade de Londres em 1818, que tinha como objetivo avaliar o clima da cidade e investigar, o que mais tarde se tornaria, ilhas de calor. Luke ficou

aumento da cobertura de neve, com seu alto poder de reflexão da radiação solar (albedo), intensificava ainda mais o resfriamento do planeta.

mundialmente conhecido por seus estudos na área da meteorologia, por categorizar e dar nome aos principais tipos de nuvens.

Após a investigação pioneira de Luke, diversos estudos foram pautados nessa temática, como o de Emilien Renou, em 1855, que publicou sobre alterações climáticas em Paris, analisando o aumento da temperatura, da ventilação e os efeitos das ilhas de calor. Em 1915, nos EUA, a publicação da obra “civilização e clima” por Ellsworth Huntington mostrou o conforto sob outro ponto de vista que é o das edificações e como os aspectos meteorológicos influenciam.

Em 1927, Schmidt introduziu a ideia dos transectos móveis para realização das pesquisas, com o intuito de fazer mapas temáticos da temperatura com relação a cidade. No ano de 1929, Pepper utilizou o transecto para medir áreas, um novo método de análise das ilhas de calor (Nince, 2013). Essas publicações guiaram os próximos estudos como, por exemplo, Timothy Richard Oke que em 1960 fez diversas publicações sobre teorias, conceitos e principalmente modelos e métodos utilizados atualmente (Santos, 2022). Oke investigou os efeitos do contínuo crescimento urbano proveniente do êxodo rural e da revolução industrial, que ficaram mais evidentes na década de 1960 devido ao rápido crescimento das cidades e a poluição da atmosfera pela industrialização. Esses fatores contribuíram para impulsionar estudos sobre a atmosfera urbana.

Não demorou muito para outros estudos surgirem sobre a temática da qualidade do ar e conforto dos habitantes como, por exemplo, (Ribeiro, 2019) citando Monteiro e Alucci, (2010) mostram que as primeiras discussões sobre sensação térmica surgiram em ambientes fechados no século XVIII. Já os estudos sobre estresse térmico aparecem no século XIX, na Europa, devido a problemas de saúde dos trabalhadores.

Somente no século XX com o surgimento do sistema de ar-condicionado, o estudo do conforto térmico em ambientes fechados, possibilitou condicionar e medir as variáveis, visando identificar desempenho das atividades humanas no que diz respeito ao trabalho. Santos (2022) evidencia que o conforto é uma sensação individual de satisfação e bem-estar, relacionada ao equilíbrio das condições térmicas em um ambiente construído.

Com o avanço dos estudos em ambientes fechados, vieram novos questionamentos acerca da qualidade dos espaços abertos e como eles poderiam influenciar nas atividades humanas, evidenciando que esse conhecimento da percepção térmica é de suma importância.

2.3 Conceitos de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A temperatura do ar pode ser definida como o resultado dos processos indiretos que ocorrem na superfície da terra. Esses processos estão relacionados à reemissão de radiação de ondas longas, que corresponde à luz solar originalmente recebida em ondas curtas e posteriormente absorvida e reemitida pelas propriedades dos materiais nativos na superfície que provoca fenômenos de evaporação, convecção e acarreta no aquecimento e resfriamento do ar (Barbirato; Torres; Souza, 2011).

Em meteorologia, os termos temperatura do ar à superfície e à sombra são considerados equivalentes, pois ambos representam a temperatura medida em um ponto da atmosfera que seja próximo à superfície da terra. Portanto, para melhor representação da análise dos dados é recomendada que o equipamento esteja a uma altura de 1,25 a 2 metros. (Varejão-Silva, 2006)

A umidade do ar, por sua vez, pode ser descrita como a quantidade de gotículas de água presentes na atmosfera (Barbirato; Torres; Souza, 2011). Varejão-Silva, (2006), explica que esse processo é causado pela evaporação da água presente no solo, lagos, rios, reservatórios, transpiração vegetal, embora esteja presente em 2% da massa total da atmosfera. A umidade é descrita como um dos principais determinantes do tempo e do clima, além de exercer grande papel na sensação de conforto térmico humano.

Nas áreas urbanas a quantidade de vapor de água na atmosfera é, em média, 6% menor que no campo, em decorrência do aumento da temperatura urbana. Vale ressaltar que a impermeabilização do solo facilita o escoamento da água ao canalizá-la e reduz a quantidade de evaporação (Barbirato; Torres; Souza, 2011).

2.4 Anomalias Térmicas: Ilhas de Calor e Frescor

Para Santos (2012), as características urbanas influenciam no microclima que podem causar anomalias na temperatura e umidade relativa do ar devido ao aquecimento desigual de diferentes feições do ambiente urbano. Tais anomalias são descritas por Alves (2010) como: ilha de calor (IC), ilha de frescor (IF), ilha úmida (IU) e ilha seca (IS).

Quadro 2 - Tipos de Ilha de Calor e Seus Efeitos Locais

Tipo de Ilha	Variável de Análise	Sinal do Resultado	Causa principal	Mecanismo físico	Efeito local	Exemplo típico	Principais autores
Ilha de Calor (IC)	ICU (ΔT)	Positivo ($\Delta T > 0$)	Alta densidade urbana, impermeabilização do solo e materiais com propriedades de reter calor	Absorção e reemissão de radiação pelas superfícies construídas (asfalto, concreto)	Aumento da temperatura do ar e desconforto térmico	Centros urbanos densos, áreas industriais	Lombardo, (1985); Monteiro, (1976); Oke et al., (1987, 2017);
Ilha de Frescor (IF)	ICU (ΔT)	Negativo ($\Delta T < 0$)	Presença de vegetação e corpos hídricos	Sombreamento e evapotranspiração	Resfriamento local e conforto térmico	Parques, praças, margens de rios	Alves, (2010); Coltri, (2006)
Ilha Seca (IS)	ICUHR (ΔHR)	Negativo ($\Delta HR < 0$)	Escassez de vegetação e corpos d'água, alta impermeabilização	Redução da evapotranspiração	Ar mais seco e sensação térmica de calor intensificada	Áreas centrais, avenidas asfaltadas e zonas industriais	Oke, (1987)
Ilha de Umidade (IU)	ICUHR (ΔHR)	Positivo ($\Delta HR > 0$)	Intensa arborização, presença de corpos d'água e solos permeáveis	Evapotranspiração e evaporação direta da água	Aumento da umidade e atenuação térmica	Áreas verdes, regiões com rios e lagos	Monteiro, (1976); Oke et al., (2017)

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

2.4.1 Ilhas de Calor Urbanas (ICU)

As ilhas de calor urbana são resultados de efeitos causados pela urbanização, que se manifestam por regiões, normalmente centrais, da cidade que apresentam temperaturas mais altas quando comparadas com zonas rurais. Barbirato; Torres; Souza (2011), identificam pesquisas que comprovam uma diferença de temperatura média anual em torno de 0,5 °C a 3°C e ressalta a grande contribuição dos equipamentos de climatização para potencialização dos efeitos.

Estes fenômenos são mais significativos no período noturno em que as propriedades dos materiais construtivos liberam lentamente a energia acumulada durante todo o dia. Já no período matutino as ilhas são menos intensas e o que se sobressai são as chamadas “ilhas frias” (cidade mais fria que zonas rurais) isso porque o sombreamento de prédios favorece o atraso do efeito térmico das propriedades dos materiais construtivos, ou seja, os materiais não recebem as ondas curtas de luz provenientes do sol e, portanto, não as absorvem (Oke et al., 2017).

Santos (2012, p.22-23) mostra que

Para cada cidade e cada bairro, as estratégias visando ao controle da ilha de calor dependem das características do ambiente urbano, das atividades humanas e das condições meteorológicas. Entre as principais causas da ilha de calor nas cidades, Grimmond (2007) aponta:

- a) O aumento da área superficial vertical;
- b) As características térmicas dos materiais superficiais;
- c) As características da umidade nas áreas urbanas;
- d) O suprimento de energia adicional devido às atividades antropogênicas;
- e) A poluição do ar. Santos (2012, p.22-23)

Em Cuiabá, os estudos pioneiros de Maitelli (1994) permitiram compreender dinâmica da atmosfera local e revelaram que a cidade se comporta como uma “cesta térmica”. Isso ocorre porque os relevos que a circundam configuram uma depressão topográfica que obstrui a ventilação regional, dificultando a dispersão térmica. Essa característica geomorfológica é determinante no balanço de energia, pois atua diretamente na retenção de calor e intensificação das ilhas de calor.

Aprofundando a análise da magnitude deste fenômeno na cidade, Oliveira et al., (2013) destacam que a formação das ilhas de calor em Cuiabá é fortemente influenciada pela substituição da vegetação. Segundo os autores, o microclima de um centro urbano é determinado pela geometria do ambiente, materiais e principalmente a vegetação, que atua como regulador da intensidade das ICU.

2.4.2 *Tipos de Ilhas de Calor Urbanas*

Oke et al. (2017) identificam quatro tipos distintos de ICU, cada um caracterizado por causas específicas, bem como por comportamentos espaciais e temporais próprios. Os quatro tipos são:

Ilha de calor de superfície: caracterizada pelo padrão complexo de sua geometria e propriedades radiativas como albedo da superfície. É medida durante o dia com sensores aéreos ou satélites que conseguem captar sua magnitude e sensibilidade da cobertura do solo.

Ilha de calor de dossel urbano: é o resultado da diferença de temperatura do ar na superfície que corresponde ao nível de altura dos telhados da cidade com a da paisagem não urbana. Sua intensidade é atuante no período noturno, logo após o pôr do sol, onde o ar da superfície urbana resfria lentamente devido à propriedade dos materiais construtivos, enquanto as zonas rurais dissipam rapidamente. Já no período da manhã as ilhas de calor são pequenas ou até mesmo negativas, o que favorece as ilhas de frescor.

Ilha de calor da camada limite: ocorre para além da camada do dossel, por um fluxo de calor sensível intenso vindo da cidade, que cria uma “bolha” de ar quente que paira sobre a cidade. Essa temperatura da bolha quando comparada a da zona rural é a chamada camada limite, ela, também, se desloca a favor do vento (sotavento), para muito além da área construída, o que adiciona calor em outras regiões ou pode causar alterações no clima.

Ilha de calor subterrânea: quando a transferência do calor sensível das construções urbanas se infiltra e se armazena no solo, aquíferos, por tempo prolongado. Reichardt e Timm, (2004), no livro solo planta e atmosfera, ressalta que a temperatura do solo é muito importante para o desenvolvimento das plantas, além disso, quando se analisa o perfil do solo identifica-se que quanto mais profundo, menor a propagação do calor. Isso significa que a uma determinada altura não haverá mais amplitude térmica o que torna a temperatura constante.

2.4.3 *Magnitudes e Consequências das Ilhas de Calor*

Conforme citado na evolução da história do clima urbano, Oke teve e tem um papel memorável nas pesquisas sobre o tema. Seus estudos serviram de base para a publicação "The Urban Climate" de Helmut E. Landsberg (1981) livro que resume o conhecimento sobre o fenômeno.

Com a consolidação do conceito, a preocupação se voltou a medir os efeitos e a magnitude das ilhas de calor urbana. García (1996) complementou esses estudos e propôs uma escala de categorias para classificar a magnitude medida. Segundo Gomez & Garcia (1984) apud Santos (2012, p.21) a escala de intensidade, que se refere à diferença das temperaturas do ar entre zona urbana e zona rural adjacente, é agrupada em categorias:

- a) Fraca: com diferenças entre 0 a 2°C;
 - b) Moderada: com intensidade entre 2 a 4°C;
 - c) Forte: entre 4 a 6°C;
 - d) Muito Forte: com intensidade maior que 6°C.
- (Santos, 2012, p.21)

Posteriormente, Klysik e Fortuniak (1999) buscaram ligar a intensidade das ilhas de calor com as condições meteorológicas. A padronização mais recente utilizada para classificação foi proposta por Oke e Stewart (2012) através das LCZ (Zonas Climáticas Locais).

Diversas consequências são acarretadas pelas ilhas de calor, além de induzir a outros fenômenos climáticos. Oke et al., (2017, p.237) ressalta que o excesso de calor faz o ar deslocar na vertical, além de gerar brisas do campo que são causadas por circulações de ilhas de calor que atraem o ar do campo para o centro da cidade fazendo com que o ar quente da cidade (mais leve) suba sobrando um espaço “vazio” como num balão, isso cria uma zona de baixa pressão. E para preencher esse espaço, o ar frio do campo é puxado, por isso o nome do sistema de circulação é adicionado à brisa do campo. Toda essa circulação de ar provoca a condensação “o que contribui para os efeitos urbanos na formação de nuvens e na precipitação”.

Vale ressaltar que o ar vindo do campo pode estar mais “limpo” e quando chega na cidade fica carregado de poluentes se concentrando em maior parte no centro da cidade. Esse fenômeno pode se agravar ainda mais devido a absorção e emissão das ondas longas pela superfície que contém muitas partículas. Este fator pode servir como uma estufa que aprisiona as ondas e as refletem sem parar, gerando mais calor.

Outro fator importante é o estresse térmico causado pelas ondas de calor comumente ocasionados pelo clima e potencializadas pelas ilhas de calor, isso reforça o uso de refrigeração dos locais que adicionam mais energia aos sistemas elétricos e sobreaquecimento.

2.5 Estratégias de Mitigação das Ilhas de Calor

2.5.1 O Papel da Vegetação na Atenuação do Microclima

A vegetação, de porte arbóreo ou rasteiro, é uma das principais estratégias para amenizar o microclima, criando as chamadas “ilhas de frescor”. Sua eficácia se baseia em dois mecanismos físicos, como a evapotranspiração e o controle de radiação solar por meio do sombreamento (Barbirato; Torres; Souza, 2011).

O primeiro mecanismo é a evapotranspiração. Ele atua na liberação do vapor de água da planta, resultando num resfriador natural do ar. É importante dizer que a conversão da água líquida para o vapor consome energia (calor latente) e isso reduz a temperatura do ar (calor sensível). A eficiência deste ciclo está diretamente ligada ao índice de área foliar que mede a área de exposição das folhas. Por exemplo, uma copa densa ($IAF=4$) pode perder até 118 litros de água no verão. Oke (1987) complementa que, para evitar o estresse térmico em dias muito quentes, as folhas desenvolveram mecanismos de defesa, como o fechamento dos estômatos (Shinzato, 2009).

O segundo mecanismo é o sombreamento. Ele controla a radiação por meio da copa das árvores e impede que a radiação solar direta atinja a superfície urbana resultando em menor aquecimento dos materiais construtivos embaixo da copa (Shinzato, 2009). As propriedades radiativas de absorção, reflexão e transmissão são cruciais e dependem do comprimento de onda e pigmentos internos, conforme discutido originalmente por Oke (1987).

Para a realização da fotossíntese, por exemplo, os pigmentos absorvem com maior intensidade ondas do espectro visível (0.40 a 0.51 μm) referente às cores azul e vermelha. Neste sentido, os comprimentos de onda que compreendem a banda 0.4 e 0.7 μm são chamadas de photosynthetically active radiation PAR, ela é capaz de absorver 85% da radiação, 6% de transmissão e 9% da reflexão. Segundo Moreno García (1999) apud Barbirato; Torres; Souza, (2011), a reflexão depende das características físicas das plantas podendo chegar a um albedo de 30%, apenas 20% do fluxo incidente sobre a cobertura vegetal atinge o solo e 46 % da radiação solar sob a vegetação é difusa.

A combinação desses mecanismos reduz consideravelmente a temperatura do ar. Algumas pesquisas relatam que sob agrupamentos essa redução pode ser mensurada de 3°C a 4°C quando comparada com áreas expostas (Barbirato; Torres; Souza, 2011). Shinzato (2009), evidencia que os efeitos de resfriamento de áreas verdes podem ser percebidos a distâncias de 50 a 100 metros de sua borda, com diferenças de temperatura de até 2°C.

O impacto desse resfriamento é observado diretamente na eficiência energética das edificações. Monteiro e Mendonça (2003) apud Barbirato; Torres; Souza, (2011) estimam que

a correta arborização em torno de uma edificação pode reduzir os custos com ar condicionado entre 15 a 35% no verão.

Por fim, a eficácia da vegetação dependerá de um bom planejamento urbano. Algumas decisões importantes como a espécie e o porte das árvores devem ser levadas em consideração, por exemplo, espécies decíduas são utilizadas no verão, pois a copa cheia garante máximo sombreamento, enquanto que no inverno a queda das folhas permite a passagem da radiação solar. Outros benefícios de extrema importância pontuados por Barbirato; Torres; Souza (2011) são: vegetação no controle de ruídos, filtragem da poluição atmosférica, redução da velocidade dos ventos e prevenção de erosões.

2.5.2 Estratégias de Engenharia e Planejamento Urbano

O planejamento é a ferramenta primordial para mitigação das ilhas de calor, pois define a estrutura da cidade. Barbirato; Torres; Souza (2011), identificam que a principal característica a ser analisada antes de projetos ou intervenções é a climática da região. O primordial é conhecer o local, buscando sempre analisar a ventilação, insolação para servirem de base para o projeto de uma edificação, pois assim terá referências aos efeitos térmicos e conseguirá realizar diferentes arranjos dos espaços, com a finalidade de trazer maior conforto térmico.

Nascimento (1993) identifica aspectos iniciais para o processo, como a configuração da geometria dos edifícios, a propriedade dos materiais, as cores das superfícies, a extensão da área construída, o sombreamento das ruas e a configuração das áreas verdes. Além disso, o autor cita aspectos físicos ambientais, como configurar os espaços de maneira que as atividades que causam poluição fiquem situadas em posições estratégicas, levando em consideração a topografia, morfologia e direção dos ventos. O uso de espaços abertos e verdes para dispersão da poluição e o planejamento das vias são cruciais de modo a evitar bolsões de poluição.

Neste sentido, Shinzato (2009) aponta o posicionamento estratégico das árvores, que devem ser planejadas em três condições: de maneira a proteger a fachada no verão, a bloquear os ventos frios e a redução das sombras do inverno.

No ramo da engenharia de materiais, destaca-se a importância de desenvolver superfícies com maior albedo, capazes de refletir uma parcela mais significativa da radiação solar e, assim, reduzir o aquecimento superficial urbano. Diversos estudos abordam estratégias voltadas a esse objetivo, como a pintura de telhados, a repavimentação com cores mais claras, a aplicação de pavimentos fotocatalíticos de concreto, o uso de asfaltos frios e a incorporação

de materiais naturais nos revestimentos das edificações. Targino; Coraiola; Krecl (2019), ressaltam que essas alternativas, discutidas na literatura, configuram soluções eficazes para mitigar o aquecimento urbano e propor melhores condições de conforto térmico nas cidades.

As soluções híbridas na engenharia integram vegetação e água ao ambiente construído. A aplicação de diversas estratégias como telhado verde em edifícios, lateral e fachada vegetadas tem sido vista em Tóquio, Pequim, Cingapura, Curitiba e outras. Acredita-se que as áreas verdes possam absorver entre 30% e 38% das águas e que as linhas de trem também favorecem no balanço hídrico pois coletam 17% das chuvas no ano. Em contrapartida, um aumento de 10% na área pavimentação corresponde a uma diminuição de 5% de absorção das águas (Shinzato, 2009).

As intervenções de planejamento urbano voltadas à qualidade ambiental também geram benefícios econômicos relevantes. Estudos indicam que a proximidade e a visualização de áreas verdes e lagos influenciam positivamente o valor de imóveis. Santamouris (2001), ao analisar o impacto do ambiente urbano sobre o mercado imobiliário, identificou que edificações com vista para parques apresentam valorização média de 8%, enquanto aquelas situadas próximas a áreas verdes registram acréscimos de aproximadamente 6%. Em Berlim, imóveis com vista para lagos podem valorizar até 10%, para espelhos d'água 7% e para playgrounds 16%. Em contrapartida, propriedades com vista voltada para construções ou outros edifícios tendem a sofrer desvalorização média de 7% (Shinzato, 2009).

Além do valor econômico, Shinzato (2009) destaca o papel social e de saúde da vegetação planejada. Espaços verdes auxiliam na integração social e colaboram na saúde, contribuindo diretamente para a redução da pressão sanguínea, estresse, ansiedade e depressão, justificando seu uso em “Jardins de Cura” em hospitais. Outros estudos citam que é possível associar a diminuição da criminalidade, fadiga mental e agressividade.

Todas essas pesquisas são baseadas em estudos psicológicos nos campos da psicologia ambiental e das cores, que analisam como o ambiente físico impacta o comportamento e bem estar humano. Por exemplo, a cor verde, segundo Kaplan (1995), combate a fadiga mental, enquanto a azul pode reduzir a pressão sanguínea (Ulrich, 1991).

Para avaliar a viabilidade financeira da melhor estratégia a ser adotada, um estudo realizado por Targino; Coraiola; Krecl (2019) em Londrina-PR, destacam que a preservação da vegetação urbana é fundamental para manter o sombreamento e a umidade do solo, favorecendo a evapotranspiração em vez do aquecimento das superfícies. Além de apresentar custos de implementação significativamente menores, sendo os parques cerca de sete vezes mais baratos

que lagos urbanos, a vegetação oferece múltiplos benefícios adicionais, como redução do escoamento superficial, sequestro de CO₂, melhoria da qualidade do ar, valorização paisagística e promoção do lazer, configurando uma estratégia ambiental e socialmente vantajosa no enfrentamento das ilhas de calor urbanas.

Targino; Coraiola; Krecl (2019, p.982.), analisaram os custos necessários para implementação de arborização ou lagos, espelhos d'água para a cidade de Londrina no Paraná, e concluíram que:

As cidades devem conter a erradicação da vegetação para manter as superfícies sombreadas e reter a umidade do solo, o que poderia desviar a radiação solar para processos de evapotranspiração em vez de aquecimento. Em termos de custos para implementar estratégias de mitigação contra a ICU, a introdução de um parque é cerca de sete vezes mais barata do que a construção de um lago urbano. A vegetação não é apenas mais barata e eficiente para combater a ICU, mas também tem outros benefícios, como a redução do escoamento e da erosão de tempestades, sequestro de CO₂, redução da poluição do ar, melhoria da estética da cidade e função recreativa. Portanto, a presença de espaços verdes traz uma situação vantajosa para todos (Targino; Coraiola; Krecl, 2019, p.982).

2.6 Estudos de Caso sobre Ilhas de Calor e Clima Urbano

2.6.1 Consequências na Saúde e Poluição Atmosférica

O estudo das ilhas de calor em cidades como Cuiabá justifica-se pelas graves consequências que este fenômeno acarreta à saúde da população e ao meio ambiente, conforme demonstrado em diversas pesquisas.

A relevância mais direta está nos impactos à saúde pública. O estudo de Ribeiro Sobral (2005), examinou a relação entre a poluição térmica urbana e a mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias em São Paulo. Ao comparar estações meteorológicas, foi identificado que a região central onde se localiza o Parque D. Pedro (bairro da Sé e do Brás) registrou temperaturas de 2 a 4°C acima da periferia (Santana e Jabaquara). A taxa de mortalidade anual no centro foi 47% maior que no Jabaquara, indicando forte correlação entre as ilhas de calor e risco de morte.

Essa vulnerabilidade é agravada pelos poluentes urbanos, que por sua vez contribuem para as ilhas de calor urbano. Em outro estudo em São Paulo, Ribeiro et al., (2021) destacam que as áreas urbanas são as principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e material particulado (MP_{2,5}). A pesquisa evidencia que esses poluentes além de causarem milhares de mortes e problemas de saúde também contribuem para o aquecimento da superfície,

e que a projeção de cenários futuros de mitigação como a troca de combustíveis e a mudança no modelo de transporte são fundamentais para reduzir esses impactos.

Além de afetar a mortalidade e a morbidade, a urbanização impacta diretamente o conforto por meio do estresse térmico. Castiglia Feitosa et al., (2021), comparou dois bairros do Rio de Janeiro: um urbano e denso, São Cristóvão, e outro suburbano e planejado, Guaratiba. São Cristóvão, bairro com urbanização desordenada e ventilação não planejada, apresentou uma temperatura média anual de 23,48°C devido à estagnação do ar. Em contraste, Guaratiba, com mais áreas verdes e ruas planejadas, registrou uma média de 22 °C, apresentando maior conforto. Dessa forma, o estudo concluiu que o planejamento da geometria urbana com devida orientação e espaçamento entre as ruas é vital para o fluxo da ventilação e o alívio do estresse térmico.

Os efeitos das ilhas de calor vão além dos impactos diretos na população alterando até mesmo fenômenos atmosféricos. Naccarato; Pinto; Pinto (2003), por exemplo, analisou como as influências antropogênicas podem aumentar a densidade de descargas “nuvem solo” em áreas urbanas. O estudo se baseou em autores pioneiros no assunto que propuseram dois fatores principais: aumento da convergência de ar pelas ilhas de calor e a formação dos núcleos de condensação, causado pelos aerossóis da poluição como PM10 e SO₂.

Naccarato; Pinto; Pinto, (2003) confirma essa hipótese por meio de dados de raios, satélite e medições de PM10 para Campinas e São José dos Campos, grandes áreas do sudeste brasileiro. Os autores concluem que as altas temperaturas das ilhas de calor, aliadas aos aerossóis da poluição, atuam em sinergia, aumentando a incidência de raios e também alterando sua polaridade sobre as grandes cidades.

2.6.2 *Relação entre Urbanização, Uso do Solo e ICU*

A profunda alteração da paisagem natural causada pelo processo de urbanização e pelas mudanças no uso e cobertura do solo tem como principal fator a formação das ilhas de calor. A substituição da vegetação por materiais construtivos impermeáveis altera as propriedades da superfície, e isso modifica o balanço energético e hídrico local.

Estudos em vários biomas brasileiros ilustram esse mecanismo, como o de Souza; Alvalá; Nascimento (2016) que modelou o crescimento populacional de 500% nos últimos 30 anos para a cidade de Manaus. Os dados revelam que o balanço energético da superfície foi

alterado, acarretando o aumento da temperatura, com ilhas de calor de até 2,98°C, e redução da circulação dos ventos.

Nesse mesmo sentido, um estudo em São Paulo aprofundou essa questão sobre o "fluxo de energia armazenada". Ferreira; De Oliveira; Soares (2013), focaram em como a substituição da paisagem natural altera o balanço térmico. Embora a ICU da cidade tenha apresentado uma variação de 3,3°C, o estudo não encontrou uma correlação direta entre essa variação e o fluxo de energia armazenada no período, demonstrando a complexidade da física do clima em megacidades tropicais.

Essa relação pode ser comprovada por outras pesquisas que realizaram análises históricas de sensoriamento remoto para avaliar a evolução do uso e cobertura do solo. Um exemplo, é o estudo realizado por Ribeiro et al., (2024) em Sorocaba, São Paulo, que analisou o período de 1985 a 2020, 35 anos de observações. Além disso, quantificaram a conversão da paisagem, e observaram que dos 21,56% da área total, aproximadamente 13,19% a das áreas de pastagem e agricultura foram convertidas em áreas urbanas. Isso impactou diretamente a Temperatura da Superfície Terrestre (TST), que na área urbana durante o verão subiu de uma média de 25,2°C (1985) para 32,5°C (2020).

Outro estudo similar realizado por Callejas (2011) nas cidades des Cuiabá-Várzea Grande/MT, analisou dados do período de 1986 a 2007, 21 anos. Os autores correlacionaram o crescimento populacional de 615% de Cuiabá e 1000 % de Várzea Grande ao longo desse período, com a substituição da paisagem natural por materiais construtivos impermeabilizados. Os resultados indicaram que a temperatura superficial aumentou significativamente, com variações de 0,96°C a 5,49°C nas áreas densamente urbanizadas. Os centros urbanos das duas cidades apresentaram aumento na temperatura: 1,34°C para Várzea Grande e 3,12°C para Cuiabá.

No Rio de Janeiro, RJ, uma análise de 30 anos, 1986 a 2016, realizada por Neiva; Da Silva; Cardoso, (2017), demonstrou que as áreas mais urbanizadas, zonas oeste e norte, apresentaram temperatura de superfície quase o dobro das registradas na zona sul. Essa grande diferença foi atribuída por fatores mitigadores como a presença de vegetação e a altitude, que aliadas às massas de ar dinâmicas provenientes dos oceanos, proporcionam uma diminuição significativa da TST e da temperatura do ar. Essa amenidade climática favorece uma valorização dos imóveis desta área, associando a melhor qualidade de vida para a população.

Esses impactos das ilhas de calor na qualidade de vida e na saúde são fenômenos globais. Em Delhi, capital da Índia, por exemplo, Mohan; Kandya, (2015) analisaram dados de 2001 a

2011, focando na Faixa de temperatura Diurna (DTR). Os resultados mostraram uma redução na DTR na área urbanizada para 11°C, enquanto as áreas rurais mantiveram uma DTR acima de 13°C. Isso significa que a megacidade não está mais conseguindo se resfriar adequadamente durante a noite, fator que foi relacionado com picos de mortalidade durante ondas de calor com 369 mortes em 12 dias (2012) e 130 mortes em 5 dias (2014), durante uma onda de calor de 45 °C. Além disso, em 2010, os médicos revelaram a existência de um aumento de 20 a 30% nos casos de insolação e outros riscos, como a transmissão de malária e o aumento do consumo de energia.

Vale ressaltar que a influência do solo não fica limitada somente ao urbano-rural, mas também as práticas de manejo da terra como visto em Piracicaba, São Paulo. Coltri et al., (2008), realizaram um estudo nesta cidade, numa região dominada pela cana de açúcar e analisou o impacto da sazonalidade das entressafras nas ilhas de calor. Foi identificado que as áreas urbanas densas eram as mais quentes com médias de 16,8°C no verão, 4,4 °C no outono, 9,2 °C no inverno e 13,8 °C na primavera. Além disso, o período de "entressafra" ou "consórcio" era o mais crítico. O solo nu, após a colheita, passa a se comportar de maneira semelhante aos materiais urbanos, absorvendo mais radiação, reduzindo a umidade e aumentando as temperaturas locais. Essa flutuação sazonal da cobertura agrícola, portanto, é um fator crítico que agrava a situação climática. Em um estudo complementar na mesma região, Coury; Masiero; Kruger, (2022) aprofundaram essa análise, mostrando o oposto: que a "pré-colheita", a vegetação alta, cria uma ilha de frescor devido à intensa evapotranspiração. Como a área rural de referência fica muito mais fria, o contraste com a cidade é maximizado, intensificando artificialmente a magnitude da ICU medida. Ambos estudos concluem que a sazonalidade do manejo agrícola, vegetação alta versus solo nu, é um fator crítico que altera a própria medição da ilha de calor.

Finalmente, toda essa alteração na paisagem e no clima, gera consequências biológicas. Um estudo de De Azevedo et al., (2018) que correlacionou as ICU com a distribuição dos habitats larvais do *Aedes aegypti* em Santa Bárbara do Oeste, SP, de 2004 a 2006. A pesquisa concluiu que o aquecimento da ICU entre 1 a 3°C, influencia positivamente o ciclo do vetor, e também acelera a replicação do patógeno (vírus) dentro do mosquito. A dinâmica de transmissão é altamente dependente da temperatura, por exemplo, Watts et al. (1987) demonstraram que temperaturas acima de 30°C podem reduzir o período de incubação do vírus da dengue de 12 para 7 dias. Portanto, a ICU torna a transmissão mais eficiente, um fator que,

segundo De Azevedo et al., (2018), atua em conjunto com as condições socioeconômicas (saneamento e habitação).

2.6.3 Metodologias de Análise - Transectos Móveis e Modelagem

O estudo das ilhas de calor baseia-se em diferentes abordagens, desde a coleta de dados *in loco* até modelagens avançadas e o uso de novas tecnologias.

A técnica mais consolidada para medir a ilha de calor urbana atmosférica é o transecto móvel.

Leal; Biondi; Batista (2016) realizaram uma pesquisa na cidade de Curitiba, PR, utilizando quatro transectos móveis com trajetos preestabelecidos, norte-sul; leste-oeste; sudoeste-noroeste e noroeste-sudeste, para medir as variações de temperatura na cidade. Notou-se que as maiores temperaturas ocorreram nas áreas centrais e em períodos noturnos e madrugada com variações de 1,2 a 2°C. De forma similar, em Balneário Camboriú, SC, Wollmann et al., (2021) usaram transectos móveis para analisar o impacto dos "canyons urbanos" (edifícios altos que influenciam por meio da sombra) no balanço de radiação negativo. O estudo concluiu que a verticalização extrema cria um microclima particular, em que o sombreamento se estende por mais tempo, mesmo após o nascer do sol.

Para otimizar esta técnica do transecto móvel, Romero Rodríguez et al. (2020) propuseram uma metodologia de baixo custo na cidade de Sevilha, Espanha, que utiliza um "supertransecto" para definir a rota ideal. Os autores reforçam que a medição *in loco* da temperatura do ar é mais eficiente que o sensoriamento remoto para validar a exposição humana real ao calor.

Para além da análise pontual, a modelagem permite especializar os dados. Em Presidente Prudente, SP, Teixeira e Amorim (2022) propuseram um modelo de regressão linear multicritério que integra dados de temperatura do ar (coletado às 23h) com dados de temperatura da superfície (LANDSAT 8) criando mapas detalhados das ICU. De forma similar, em Paranavaí-PR, Dorigon, Amorim (2019) combinaram dados de transecto móvel e sensoriamento remoto (Landsat 8 e Radar SRTM) para criar um modelo estatístico da temperatura do ar.

Finalmente, para suprir o *gap* de dados meteorológicos em áreas densas, surgem metodologias inovadoras. Droste et al., (2017), em São Paulo, exploraram o crowdsourcing de dados de temperatura da bateria de smartphones. A pesquisa utilizou um aplicativo chamado

OpenSignal, originalmente focado em medir a qualidade das redes, registrando também a temperatura da bateria do usuário de dados de temperatura da bateria de smartphones. Utilizando um modelo de transferência de calor (que considera o calor do corpo humano) e validando com estações oficiais, o estudo demonstrou que a técnica tem alta precisão e grande potencial para estimar a temperatura urbana em alta resolução, especialmente quando classificada por Zonas Climáticas Locais (LCZ).

2.6.4 *Síntese da Revisão*

Os artigos revisados neste capítulo demonstram a complexidade das ilhas de calor (ICU) e como elas são impulsionadas diretamente pelo processo de urbanização e pelas mudanças na cobertura do solo. Estudos em cidades brasileiras como Manaus (Souza; Alvalá; Nascimento, 2016), São Paulo (Ferreira; De Oliveira; Soares, 2013), Cuiabá (Callejas et al., 2011) e Sorocaba (Ribeiro et al., 2024), além de megacidades como Delhi (Mohan; Kandya, 2015), mostram como a substituição da paisagem natural por materiais construtivos impermeáveis impacta o balanço energético local. O sensoriamento remoto, ao comparar dados ao longo de décadas, comprova a correlação direta entre o crescimento da mancha urbana e o aumento da temperatura da superfície. Essa dinâmica é tão significativa que até mesmo práticas agrícolas, como a exposição do solo nu após a colheita (Coltri et al., 2008; Coury; Masiero; Kruger, 2022), podem mimetizar o comportamento térmico das áreas urbanas.

As consequências desse fenômeno impactam diretamente a saúde pública. Pesquisas em São Paulo estabelecem uma ligação direta entre a intensidade da ICU e o aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias (Ribeiro Sobral, 2005). Esse risco é agravado pela poluição atmosférica (Ribeiro et al., 2021), intrinsecamente ligada à vida urbana e ao aquecimento. O "estresse térmico" constatado no Rio de Janeiro (Castiglia Feitosa et al., 2021) piora a qualidade de vida e favorece a proliferação de vetores de doenças, como o mosquito *Aedes aegypti* (De Azevedo et al., 2018). Os impactos ambientais se estendem até à alteração de fenômenos atmosféricos, com estudos sugerindo que as ICU, combinadas aos aerossóis da poluição, podem intensificar a ocorrência de raios (Naccarato; Pinto; Pinto, 2003).

Para mitigar esses efeitos, a literatura aponta para um conjunto de estratégias que vão desde a escala biológica, focada na eficiência da evapotranspiração e sombreamento da vegetação, até a escala do planejamento e engenharia. Estas incluem o uso de materiais de alto

albedo, cores claras, a criação de telhados verdes e a importância do desenho urbano (geometria e ventilação) para o conforto térmico (Targino; Coraiola; Krecl, 2019).

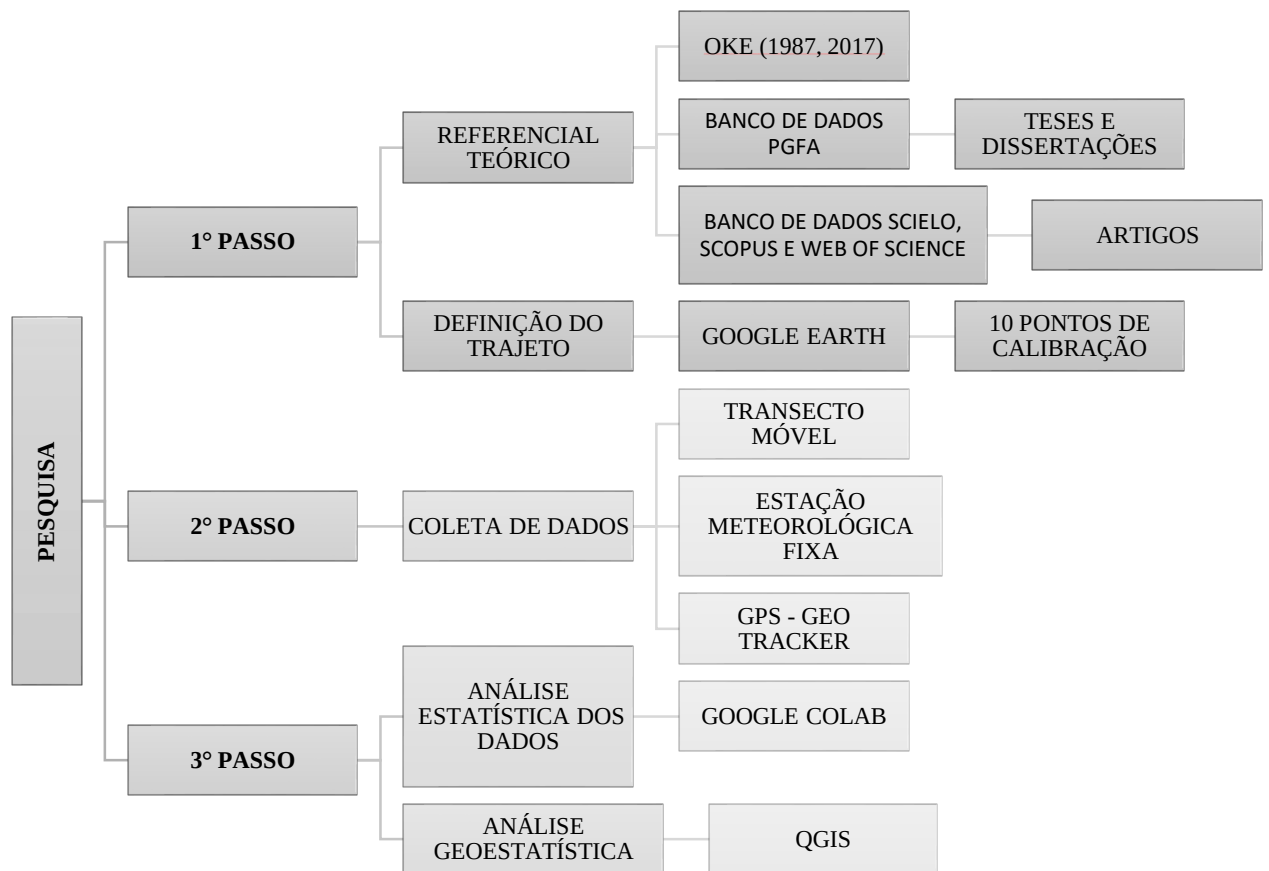
Por fim, para fundamentar tais descobertas, a literatura científica utiliza uma vasta gama de metodologias. Estas vão desde a abordagem clássica e eficaz do transecto móvel, usada em Curitiba (Leal; Biondi; Batista, 2016) e Balneário Camboriú (Wollmann et al., 2021), até a modelagem estatística (Teixeira; Amorim, 2022) e metodologias inovadoras, como o crowdsourcing de dados de smartphones em São Paulo (Droste et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODO

Para identificar, analisar e comparar a influência do microclima no sentido sul-oeste da cidade de Cuiabá por meio das ilhas de calor da área urbana para rural, a metodologia fundamenta-se a partir de três passos, conforme Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma Metodológico da Pesquisa

2



Fonte: Elaboração própria (2025)

O primeiro passo consistiu na revisão sistemática de literatura, com foco em autores referência em clima urbano (Oke 1987; 2017) e na produção científica do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA/UFMT) de teses e dissertações sobre as ilhas de calor. A busca por periódicos foi realizada nas bases de dados Scielo, Scopus e Web of Science. Após a consolidação da base teórica, traçou-se um trajeto com o auxílio do Google Earth cujas

² O detalhamento estatístico dos dados da Figura 1 será apresentado no item 3.2.3.

imagens de satélite facilitam a visualização das vias, das diferentes áreas de ocupação, uso do solo, no entorno.

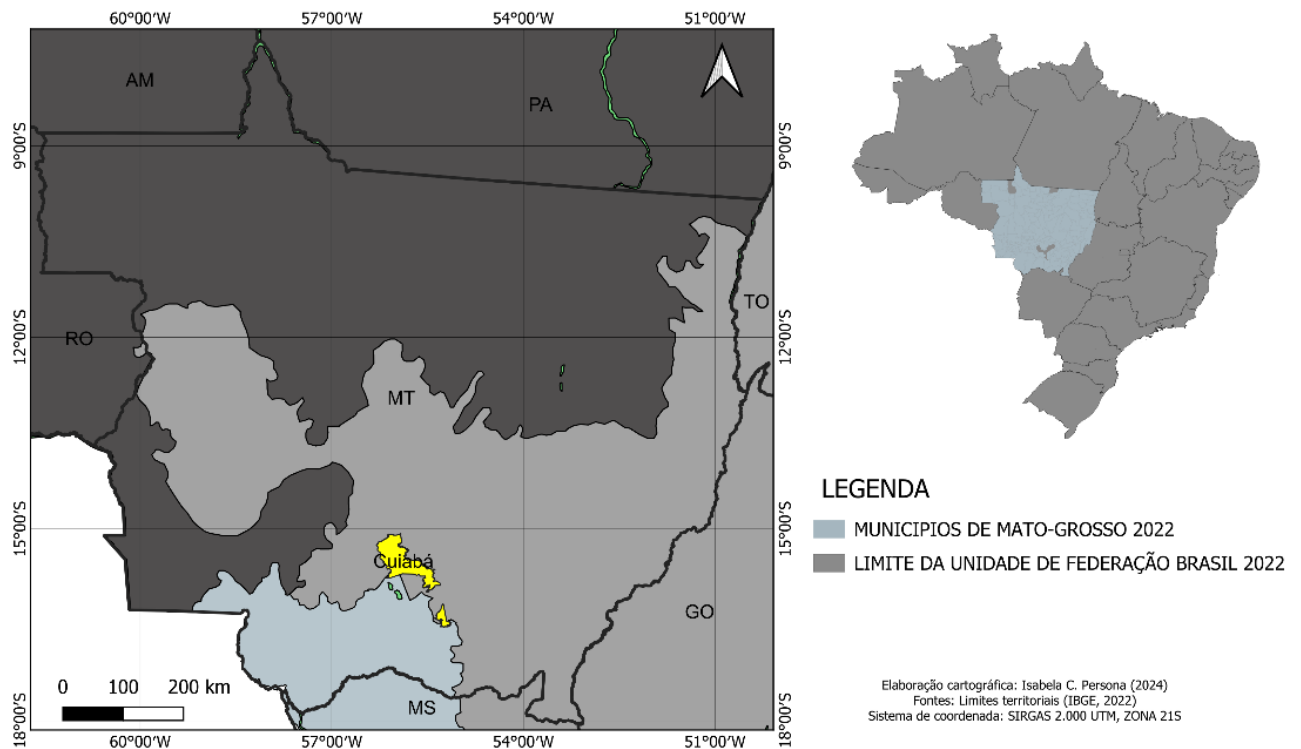
O segundo passo consistiu na coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar por meio da técnica de transecto móvel, realizada simultaneamente com o monitoramento da estação meteorológica fixa e o georreferenciamento por GPS.

O último passo compreendeu a união dos dados para o tratamento estatístico e a espacialização das informações coletadas. A análise foi segmentada em duas partes distintas para uma compreensão mais detalhada do fenômeno: o trajeto integral e o recorte da Bacia do Ribeirão do Lipa. Dessa forma, pode-se confrontar diferentes realidades microclimáticas, atendendo aos objetivos propostos e respondendo à problemática central da pesquisa.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O estado de Mato Grosso ocupa uma área de 903.208,361km² e conta com 3.658.649 habitantes residentes (IBGE, 2022). No estado existem três biomas distintos: Amazônia, Cerrado e Pantanal (Figura 2). Esses biomas oferecem um cenário único para investigações comparativas sobre o conforto térmico, ilhas de calor devido às suas características climáticas contrastantes. Essas diferenças influenciam de maneira particular os fatores físicos responsáveis pela regulação da temperatura do ar e da umidade relativa, os quais são determinantes para o conforto térmico humano.

Figura 2 - Caracterização dos Biomas em Mato Grosso



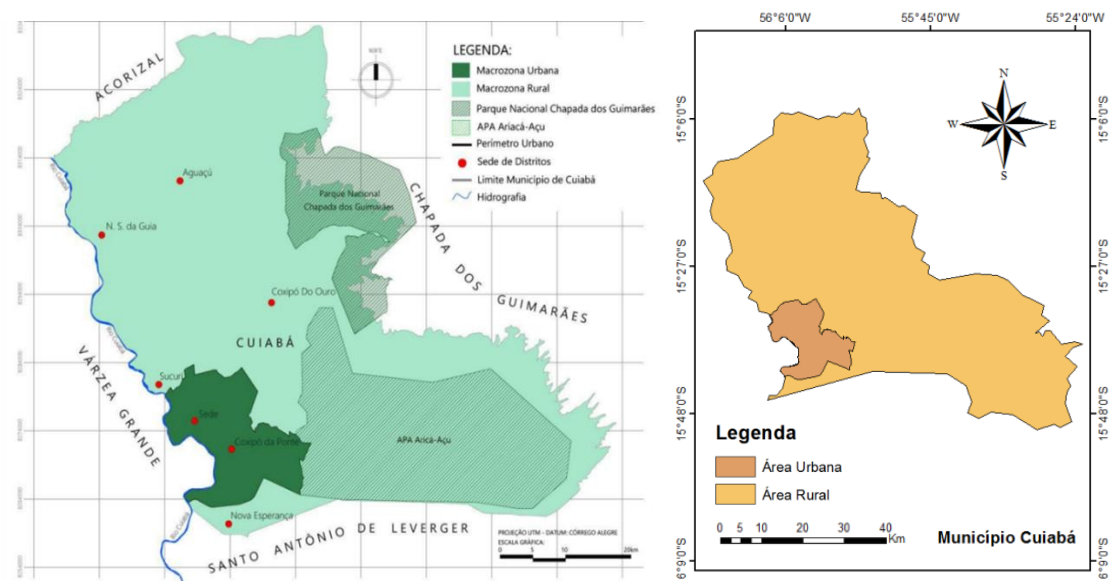
LEGENDA

AMAZÔNIA ■ CERRADO ■ PANTANAL ■

Fonte: Elaboração própria a partir do QGIS (2024)

A área de estudo compreende o município de Cuiabá que possui extensão territorial de 4.327,448km² e está localizado na mesorregião Centro-Sul Mato-Grossense (IBGE, 2022). Geograficamente Cuiabá está localizada no Centro Geodésico da América do Sul situada na coordenada 15° 35' 56" de latitude sul (S) e 56° 06' 01" de longitude oeste (SMDU, 2012). Além disso, o município engloba vários distritos sedes como Aguaçu, Nossa senhora da Guia, Coxipó do Ouro, Sucuri, Coxipó da Ponte, Nova Esperança, além de ter fronteiras com Chapada dos Guimarães, Santo Antônio de Leverger, Várzea Grande e Acorizal, conforme a Figura 3 (SMDU, 2012).

Figura 3 - Localização do Município de Cuiabá-MT



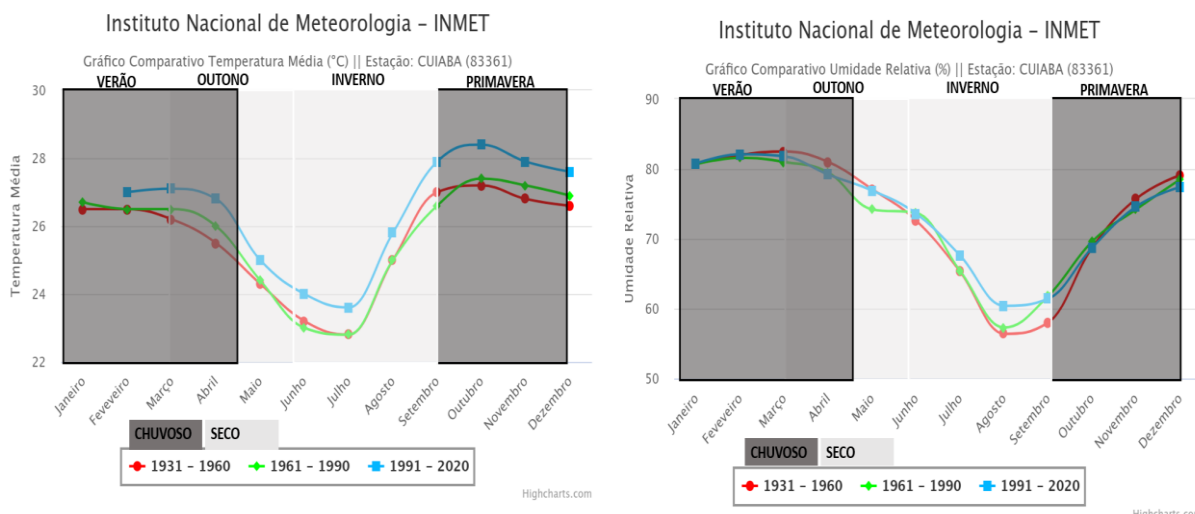
Fonte: Adaptado (Brito, 2018; Fraporti; Romancini, 2020)

Historicamente, o processo de ocupação urbana de Cuiabá remonta ao século XVIII, impulsionado pela abundância de ouro encontrada na região, que atraiu milhares de pessoas em busca de riqueza e oportunidade. Aliado a esse fator, a evolução urbana iniciou-se às margens do rio Cuiabá, que servia como principal rota de circulação de mercadoria da época (Callejas et al., 2011).

Do ponto de vista geomorfológico, a cidade está inserida na depressão cuiabana, caracterizada por uma depressão topográfica situada entre o Planalto dos Guimarães e a Província Serrana (Serra das Araras). Ainda de acordo com Maitelli (1994), a topografia da cidade está em declive no sentido sul, aliado a configuração dos relevos configuram a “cesta térmica” que dificultam a dispersão do calor.

O clima é classificado como AW (tropical) pelo sistema Koppen-Geiger, com temperatura média anual em torno dos 26°C, máximas de 42,3°C e mínimas de 10 °C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.300 mm (FGV Projetos, 2019).

Figura 4 - Comparativo de Temperatura e Umidade (Normais 1931-2020)



Fonte: Adaptado de INMET (2026)

As séries históricas extraídas da estação do INMET, abrangem as normais climatológicas de três períodos distintos, de 1931-1960, 1961-1990 e 1991-2020 e essa análise comparativa permite identificar mudanças significativas no perfil térmico e na umidade relativa do ar ao longo do último século. Os dados revelam um aquecimento progressivo e contínuo da cidade, especificamente ao analisar a série de 1991-2020 (série atual). A temperatura média atual supera a das décadas anteriores em todos os meses do ano, com uma variação máxima de aproximadamente 1,3 °C no mês de abril, quando comparados o primeiro e último período (Figura 4).

O período seco, segundo Santos et al. (2014), que abrange os meses de maio a setembro (Figura 4), obteve a maior umidade já registrada. Apesar do aumento da umidade, o estresse aumentou, pois, as temperaturas médias subiram drasticamente.

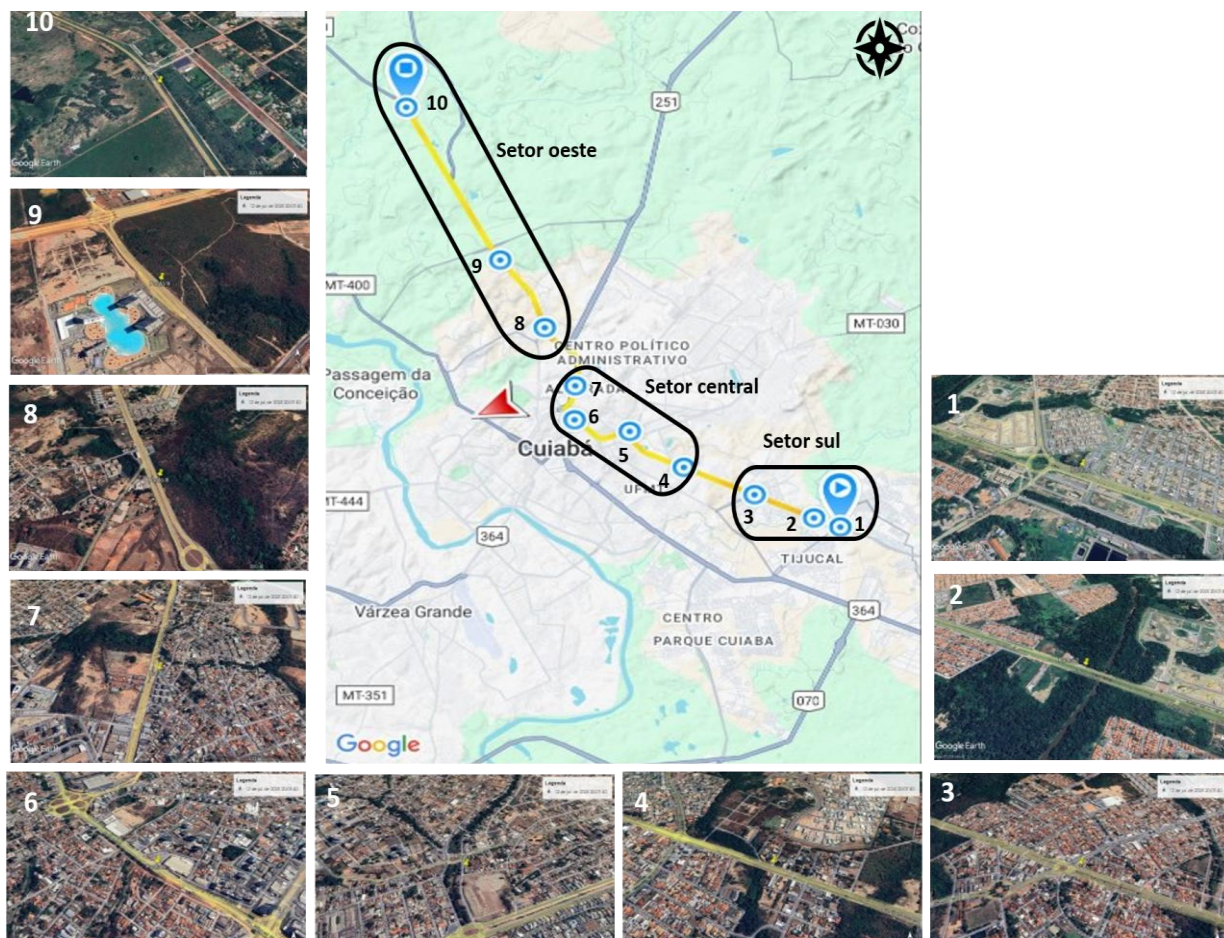
A partir dessas características, delimitou-se a área de estudo para monitoramento experimental.

3.1.1 Caracterização do Trajeto do Estudo

O trajeto se estende por 24,1 km, iniciando na macrozona urbana da cidade de Cuiabá (zona sul) e percorre até a macrozona rural (zona oeste). Foram selecionados 10 pontos fixos ao longo do trajeto (Figura 5) com aproximadamente dois quilômetros de distância, seguindo critérios da diversidade do uso do solo. Em cada ponto foi realizada uma parada técnica para a estabilização e calibração dos sensores.

O ponto inicial do trajeto (1) está localizado em frente a um condomínio horizontal na região sul, sob as coordenadas geográficas de latitude $15^{\circ}37'17.56''\text{S}$ e de longitude $56^{\circ}0'19.89''\text{O}$. Por sua vez, o ponto final (10) está situado na região oeste, nas coordenadas de latitude $15^{\circ}28'47.87''\text{S}$ e longitude $56^{\circ}8'16.78''\text{O}$, em um condomínio horizontal rural localizado na estrada da Guia.

Figura 5 - Localização dos Pontos Fixos de Coleta e Setorização do Transecto Móvel.



Fonte: Adaptado Google Earth (2026)

O percurso foi subdividido em três setores principais para melhor compreensão microclimática de acordo com a variabilidade da urbanização e das características do uso do solo.

O setor sul (pontos 1 a 3) está localizado na macrozona urbana. Caracteriza-se por uma considerável densidade populacional e áreas em expansão imobiliária. Um diferencial geográfico é a presença de um corpo hídrico, rio Coxipó e sua respectiva mata ciliar. Esses elementos de regulação térmica contrastam com as superfícies impermeáveis do entorno.

Ponto 1: Avenida das Torres, em frente ao shopping a céu aberto Toronto e um condomínio horizontal.

Ponto 2: Avenida das Torres, próximo a ponte que corta o rio Coxipó.

Ponto 3: Avenida das Torres, especificamente na rotatória da viola de cocho do bairro Jardim Imperial.

O setor central (pontos 4 a 7) representa a transição da área urbanizada para uma região densamente urbanizada e consolidada. Caracteriza-se por uma morfologia urbana verticalizada, com elevada presença de edifícios, estabelecimentos comerciais e residenciais, com predomínio de superfícies pavimentadas.

Ponto 4: Avenida das Torres próximo a um paisagismo.

Ponto 5: Final da Avenida das Torres, rotatória com a jurumirim (córrego ao lado).

Ponto 6: Avenida Miguel Sutil, próximo a loja de materiais de construção e posto de combustível.

Ponto 7: Avenida República do Libano, próximo a rodoviária.

O setor oeste (pontos 8 a 10) compreende o trecho da transição da zona urbana para a zona rural. Este setor é interceptado pela Bacia hidrográfica Ribeirão do Lipa, apresentando trechos do curso d'água canalizados e trechos naturais. O percurso conta com extensas áreas de preservação permanente e adentra a rodovia, onde a paisagem é composta por áreas de pastagem, vegetação nativa e lagos.

Ponto 8: localizado na Rodovia Helder Candia próximo a loja de materiais de construção e posto de gasolina. Densa mata ao lado.

Ponto 9: transição entre a Rodovia Helder Cândia para a MT-010

Ponto 10: MT-010 Estrada da Guia (conhecido como km 10)

Por tais características, considerou-se este um trecho estratégico para apresentar uma visão mais densa do percurso, além de ser o segmento de maior extensão e por compreender a Bacia do Ribeirão do Lipa. Essa configuração permite que o monitoramento capture a influência direta da rede de drenagem e das áreas de preservação sobre as variáveis térmicas, servindo como o principal contraponto ao adensamento observado nos setores sul e central.

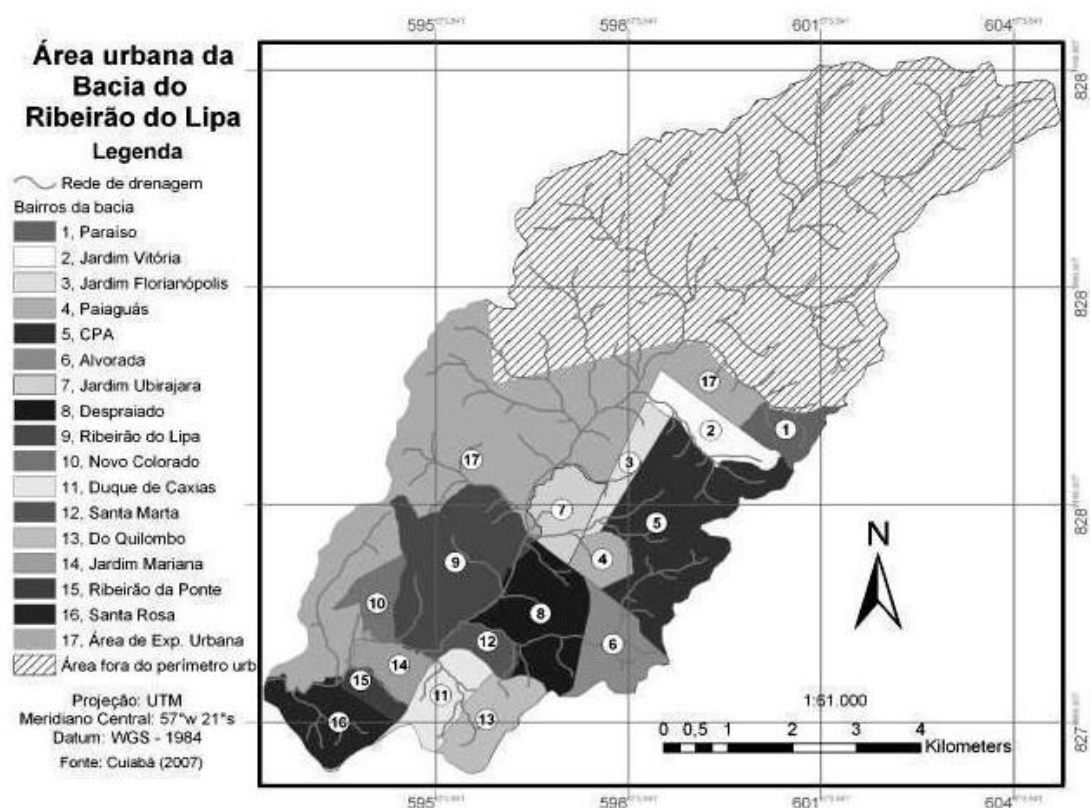
3.1.2 Caracterização da Bacia do Ribeirão do Lipa

A Bacia do Ribeirão do Lipa (Figura 6) se destaca na pesquisa, pois corta o trajeto em 7,2 km e ocupa uma área aproximada de 64 km², dos quais 36 km² estão situados no perímetro

urbano. Ela abrange outros cursos d'água que drenam áreas importantes do município, como os córregos do Baú, Mãe Bonifácia e Quarta-Feira (Dias; Gomes; Alkmim, 2011). Além disso, a região possui uma significativa cobertura vegetal, o que intensifica os conflitos entre os processos de urbanização e a necessidade de preservação ambiental (Miranda, 2016).

Abrange dezesseis bairros, incluindo áreas de expansão urbana ainda não loteadas nas porções oeste e norte da Bacia (Figura 6). É importante destacar que os limites da Bacia frequentemente não coincidem com os limites dos bairros, uma vez que a organização geopolítica do espaço urbano costuma ser independente das delimitações naturais, como as de uma Bacia hidrográfica. No caso específico, seis bairros possuem apenas parte de suas áreas inseridas na Bacia do Ribeirão do Lipa: Santa Rosa, Quilombo, Duque de Caxias, Alvorada, CPA e Paraíso (Dias; Gomes; Alkmim, 2011).

Figura 6 - Bairros da Bacia do Ribeirão do Lipa



Fonte: Adaptado de Dias et al., (2011)

A análise multitemporal indica que, entre 1984 e 2017, a Bacia do Ribeirão do Lipa apresentou incremento de 5,36% na cobertura vegetal, 2,06% nas áreas de solo exposto e 7,07% na área urbanizada, enquanto a classe lâmina d'água mostrou variação discreta, com acréscimo

de 0,37% no período. Observou-se ainda uma redução progressiva das áreas queimadas, que deixaram de ser identificadas na imagem de 2017, sugerindo ausência de focos ativos na data de aquisição da cena (Moreira; Faria, 2019).

A Bacia possui aquíferos predominantemente do tipo poroso, com permeabilidade primária, que são considerados os mais importantes devido à sua capacidade de armazenar grandes volumes de água e à ampla área de ocorrência. Além disso, apresenta aquíferos fraturados, encontrados em rochas ígneas e metamórficas (Santos Junior; Silveira, 2011).

A área apresenta dois tipos de solos principais: os Concrecionários Cambissolos, que são solos minerais bem drenados, de profundidade moderada, com mais de 50% do volume composto por concreções de ferro ao longo do perfil; e os Concrecionários Latossolos, que também são solos minerais, bem drenados e profundos, encontrados predominantemente sob vegetação de cerrado e floresta, especialmente em superfícies aplainadas de planaltos elevados (Santos Junior; Silveira, 2011).

3.2 Procedimentos de Coleta de Dados

3.2.1 Coleta dos Dados por Transecto Móvel

Utilizou-se um sensor datalogger da marca HOBO-U12 para medir a temperatura do ar e da umidade relativa do ar (Figura 7). O equipamento foi acoplado por um abrigo de PVC e instalado na janela de um veículo, a aproximadamente 2 metros de altura em relação ao solo. As medições foram registradas em intervalos de um minuto, seguindo a metodologia proposta por Oke (1982). Simultaneamente, foi utilizado o GPS pelo aplicativo Geotracker para georreferenciamento do trajeto.

Figura 7 - Desenho Esquemático de Coleta de Dados por Transecto Móvel



Fonte: Adaptado de Santos, (2012)

O aparelho foi calibrado e os dados corrigidos por meio de uma regressão linear simples (R^2 de 0,996 para temperatura e 0,987 para umidade). As coletas foram realizadas mensalmente, durante três dias consecutivos, sempre no período noturno, sob condições de céu limpo por 12 meses. No ano de 2025 existiram alguns meses excepcionais em que a coleta se estendeu por mais de 3 dias, devido a veranicos anômalos, que dificultaram a escolha dos dias típicos do período (Tabela 1). Cada coleta teve duração de uma hora, com início às 20 horas e velocidade controlada entre 30 e 40km/h.

As coletas ocorreram de julho de 2024 a julho de 2025, abrangendo quase todos os períodos característicos da região mato-grossense, conforme Tabela 1. Entretanto, a análise sazonal ficou limitada às estações que continham dados válidos, como outono, inverno, primavera. A escolha dos dias típicos considerou condições de céu limpo, tempo estável e respeitou a característica de cada estação.

Após a coleta de dados em campo, realizou-se uma triagem, a fim de garantir que somente os dias típicos, sob condições favoráveis a formação das ilhas de calor, fossem incluídos na análise.

Tabela 1 - Cronograma do Transecto com Todos os Dias Coletados

Ano	Mês	Dias Coletados	Estação Ano	Período
2024	Julho	27,28	Inverno	Quente -Seco
	Agosto	23,24,25 - 30,31	Inverno	Quente -Seco
	Setembro	01- 20,21,22	Inverno- primavera	Quente -Seco
	Outubro	25,27,28	Primavera	Quente - Úmido
	Novembro	24,25,26	Primavera	Quente - Úmido
	Dezembro	-	Primavera - Verão	Quente - Úmido
2025	Janeiro	-	Verão	Quente - Úmido
	Fevereiro	-	Verão	Quente - Úmido
	Março	-	Verão - Outono	Quente - Úmido
	Abril	-	Outono	Quente - Úmido
	Maio	01,02, 08,09,10,15,17,18 - 23,24, 30,31	Outono	Transição
	Junho	01,13,14,15	Outono - Inverno	Quente -Seco
	Julho	11,12,13-27,28	Inverno	Quente -Seco

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Em 2024, realizaram-se coletas em 17 dias, dos quais 14 foram validados e 3 descartados. Em 2025 foram 21 dias de coleta com apenas 13 registros considerados. Fora previsto um total de 39 dias de coleta ao longo do ano, mas obteve-se apenas 27 dias válidos de coleta, com 1766 medições, utilizadas nas análises estatísticas e geoestatísticas.

As datas excluídas da análise estão representadas na Tabela 1 em negrito e se referem aos dias de condições meteorológicas não típicas como as citadas por Oke (1976) devido a fatores de interferência como chuva, nebulosidade e frio atípico: 23/08/2024, 24/08/2024, 25/08/2024, 08/05/2025, 09/05/2025, 10/05/2025, 15/05/2025, 17/05/2025, 18/05/2025, 30/05/2025, 31/05/2025.

Algumas observações nos dados foram levadas em consideração como, por exemplo, excesso fumaça proveniente das queimadas do Pantanal, Cerrado e Chapada dos Guimarães nos dias: 30/08/2024, 31/08/2024, 01/09/2024, 20/09/2024, 21/09/2024 e 22/09/2024.

Considerou-se nas análises mensais a variação térmica ocorrida no dia 28/07/2025 decorrente de uma mudança brusca de temperatura ao final da tarde. Essa instabilidade sugeriu que a ilha de calor já estava se dissipando.

Pode-se observar pela Tabela 1 que os meses de dezembro/2024 a abril de 2025 não foram coletados dados do transecto móvel. Isso porque a estratégia deste estudo foi delineada para medir eventos climáticos que definem o estresse ambiental no trajeto, ao invés de se basear apenas em médias climatológicas mensais, que podem diluir a intensidade de fenômenos críticos.

A interrupção das coletas durante o período quente-úmido foi uma decisão validada pelos próprios eventos climáticos registrados em 2025. De acordo com boletins meteorológicos do INMET (2025), os meses de fevereiro e março foram marcados pela ocorrência de veranicos anômalos, caracterizados por dias consecutivos sem precipitação e com temperaturas elevadas, mesmo em plena estação fria. Conforme ressalta Sousa Junior (2011), com base em estudos de Marengo et al. (1997), esses fenômenos refletem irregularidades temporárias no regime de chuvas, o que, naquele ano, resultou em reduções de 20% a 33% nos índices pluviométricos médios de fevereiro e março, respectivamente.

Se a coleta de dados fosse realizada durante o período dessa anomalia, os dados poderiam ser enviesados e influenciar a estação chuvosa com características de estação seca. Portanto, a pausa foi essencial para garantir a integridade da comparação sazonal.

A retomada das medições em maio de 2025, período de "transição", foi estratégica para registrar o desenvolvimento da estiagem, enquanto o intenso veranico de agosto de 2025 apontado pelo boletim do INMET (2025), FOLHAMAX, (2025) e Diário de Cuiabá (2025), registrou o auge do fenômeno. Esses apontamentos foram importantes para manter os dados mais fieis possíveis da estação seca.

3.2.2 *Estação Meteorológica Fixa*

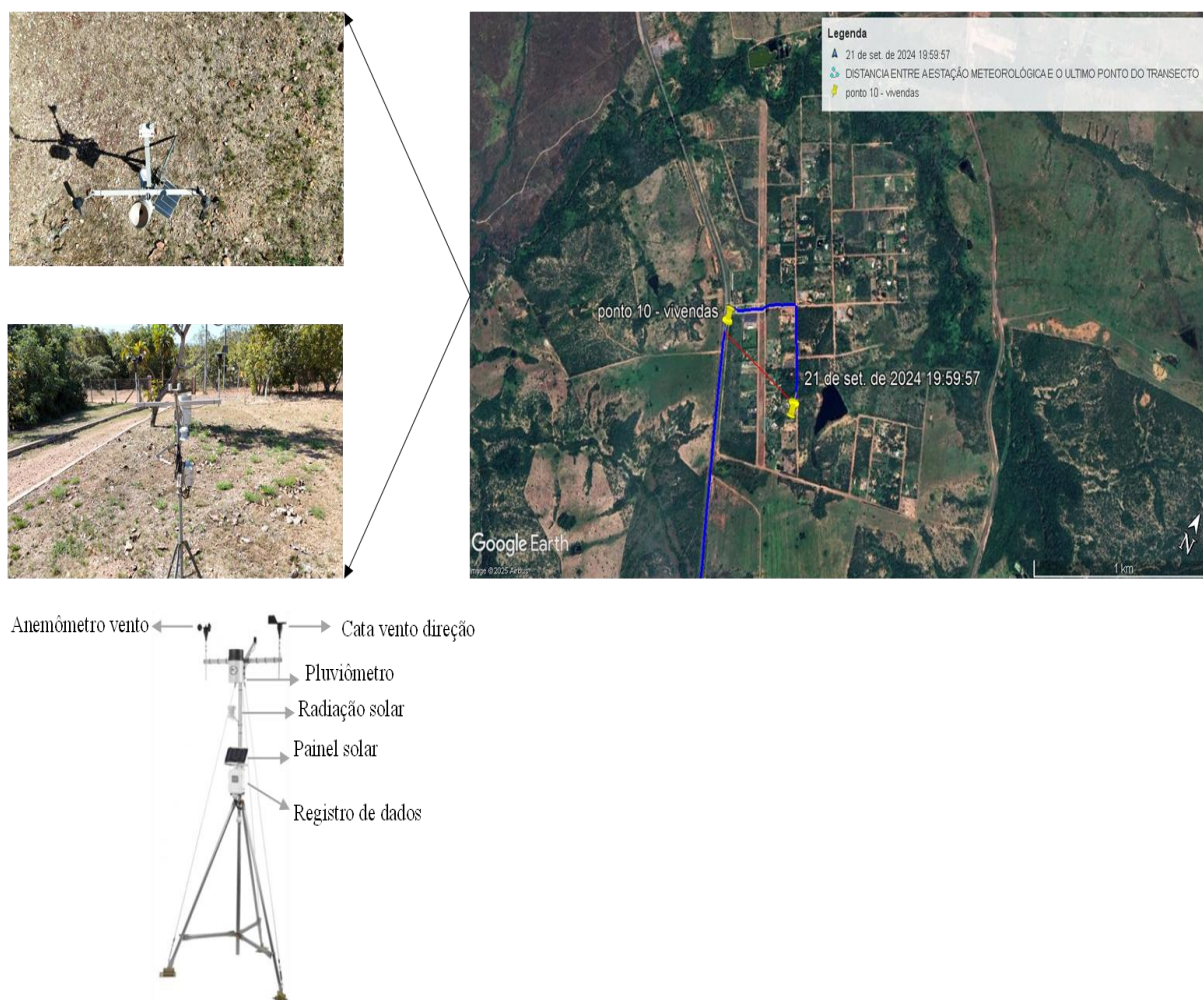
A Estação Meteorológica foi instalada em um lote com intensa arborização, localizado dentro de um condomínio horizontal, às margens da MT-010, caracterizado como zona rural e de baixa ocupação. O ponto de instalação fica aproximadamente 500 metros de distância do último ponto amostrado no transecto móvel (10), essa proximidade garante que os dados coletados sejam representativos e sirvam de referência, devido à similaridade do uso e cobertura do solo e da homogeneidade ambiental da área, cumprindo com os critérios metodológicos.

Os dados meteorológicos foram obtidos por meio da estação meteorológica HOBO U30 (Onset Computer Corporation, EUA) equipada com sensores de temperatura e umidade do ar, modelo RS3, posicionados a aproximadamente 2 metros de altura do solo, conforme as

recomendações da Organização Meteorológica Mundial (WMO). Embora o equipamento registre diversas variáveis, como vento, chuva, radiação solar, ilustradas na Figura 8, foram consideradas apenas a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, por serem determinantes para a quantificação do fenômeno.

Os registros foram medidos continuamente com um intervalo fixo de 5 minutos. Esse período foi estabelecido para garantir o maior número de dados possíveis e ao mesmo tempo cobrir o mesmo período analisado do transecto móvel, extremamente necessário para o cálculo das ilhas de calor, (Turbano, URurbano; TRural, URrural).

Figura 8 - Mapa de Localização da Estação Fixa de Referência



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de imagens de Satélite (Google Earth) e arquivo pessoal (2025)

Os dados meteorológicos foram extraídos em uma planilha eletrônica de Excel e calibrados com base na estação de referência da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), utilizando regressão linear simples (R^2 de 0,987 para temperatura e 0,993 para umidade).

A união dos dados do transecto com a estação meteorológica foi realizada por meio da interpolação linear no tempo, devido o *gap* de dados entre os minutos de ambos os equipamentos. Após a consolidação do banco de dados realizou-se a análise estatística.

3.2.3 Processamento e Tratamento dos Dados

Considerando a assincronia entre as frequências de amostragem dos dispositivos, com o sensor móvel operando em intervalos de um minuto e a estação fixa em ciclos de cinco minutos, a unificação das bases de dados foi viabilizada via interpolação linear temporal. Este método matemático permite estimar as condições térmicas e higrométricas da estação de referência para o instante preciso de cada registro do transecto, assumindo uma variação linear contínua entre as medições consecutivas da estação fixa. Tal procedimento é fundamental para o rigor do cálculo da intensidade da Ilha de Calor Urbana, definido pela equação $ICU = T_{\text{transecto}} - T_{\text{referência}}$, pois garante que o diferencial térmico reflita exclusivamente a variabilidade espacial ao mitigar erros residuais da evolução temporal do clima local durante o percurso. A Figura 9 detalha o fluxograma do processamento dos dados.

Figura 9 – Fluxograma - Detalhamento Estatístico dos Dados



Fonte: Elaboração Própria (2025)

Para realizar o processamento dos dados seguiu-se as seguintes etapas:

- a) Padronização e limpeza dos dados brutos junto da correção data/hora;
- b) Sincronização da data/hora por meio da interpolação linear temporal do datalogger do transecto com a estação fixa, o que permitiu eliminar *gaps* temporais;
- c) Filtragem de dias atípicos com a utilização de algoritmo programado para excluir automaticamente os dias não representativos (chuva, frentes frias, ou veranicos anômalos);
- d) Conversão das coordenadas em graus (latitude/longitude – WGS84) para coordenadas planas, em metros (UTM Zona 21S), viabilizando a análise geoestatística;
- e) Cálculo da intensidade das ICU e ISU automático por meio da equação:
 - a. $ICU = T_{transecto} - T_{referência}$
 - b. $ISU = UR_{transecto} - UR_{referência}$
- f) Classificação quanto a intensidade da ilha de calor com a definição das classes:
 - a. Frescor $ICU \leq 0$
 - b. Fraca $0 \leq ICU \leq 2$
 - c. Moderada $2 \leq ICU \leq 4$
 - d. Forte $4 \leq ICU \leq 6$
 - e. Muito forte $ICU > 6$

3.2.4 Análise Estatística

A partir do banco de dados processado, calcularam-se as estatísticas descritivas de tendência central (média e mediana), de dispersão (desvio padrão), utilizando a biblioteca SciPy e NumPy (Google Colab). A distribuição dos dados foi analisada por meio da técnica dos quartis, sendo as separatrizes representadas graficamente por diagramas de caixa (boxplots).

Com o objetivo de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as intensidades de ICU e ICU_{hr} nos meses analisados, aplicou-se inicialmente o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, visando a seleção adequada dos testes de hipótese. Diante da natureza não paramétrica dos dados, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para avaliar a variância entre três ou mais grupos independentes.

Como Kruskal-Wallis não detectou valores médios por grupos que diferem entre si, realizou-se um teste de post hoc, o Teste de Dunn com correção de Bonferroni (biblioteca scikit-posthocs) que consiste em definir as magnitudes das diferenças, em média, e se são significativas com base nos dados amostrais. Considerou-se um nível de significância de 5%,

ou seja, rejeitou-se a hipótese nula, de que a intensidade das ilhas de calor é similar entre os meses estudados, quando o valor-p for inferior a esse valor.

3.2.5 *Análise Geoestatística*

A análise geoestatística foi empregada com o objetivo de investigar a espacialidade dos dados. Inicialmente foi construído um semivariograma experimental a partir dos dados das ICU (biblioteca Python), o que permitiu avaliar a autocorrelação espacial do fenômeno e definir os parâmetros do efeito pepita, patamar e alcance.

Em seguida, procedeu-se a interpolação dos dados por meio do método de krigagem ordinária. A krigagem possibilitou a geração de superfícies contínuas de temperatura, resultando em mapas de distribuição espacial das ilhas de calor e de frescor urbana ao longo do trajeto, elaborados no software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS, versão 3.34.

3.2.6 *Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Ribeirão do Lipa*

Para a análise da cobertura do solo, identificou-se os pontos nos quais ocorreram os maiores e menores valores de temperaturas do ar durante as medições dos meses julho, agosto e setembro de 2024 e a partir deles, três mapas de porções urbanas com área circular de raio de 100 metros em torno da localização foram criados, no intuito de analisar as classes de cobertura do solo em cada uma delas. Os mapas foram extraídos do software Google Earth a partir das coordenadas obtidas durante a medição e processados por meio do uso do software QGIS 3.34. Foram consideradas as seguintes classes: cobertura arbórea, asfalto, concreto, edificação, vegetação rasteira, solo exposto e corpos d'água.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO DOS DADOS

Para apresentar e discutir os resultados da pesquisa, a leitura dos dados foi estruturada em duas maneiras:

- a) Trajeto integral, abordando a estatística geral, a sazonalidade e a identificação das ilhas de calor e frescor em toda a extensão.
- b) Bacia do Ribeirão do Lipa, aprofundando a relação entre as temperaturas extremas e as características específicas de uso e ocupação do solo neste recorte.

4.1 Análise do Trajeto Integral

4.1.1 Estatísticas Descritivas da Intensidade da ICU e IFU

Para identificar as ilhas de calor (ICU) e de frescor (IFU) ao longo do trajeto, a Tabela 2 resume estatisticamente as diferenças de temperaturas entre a zona urbana e rural, com base nas 1766 medições validadas.

Tabela 2 - Resumo da Análise Estatística Descritiva

Estatística	Valor (°C)
N (Total de Observações)	1.766
Média	2,368
Mediana (P50)	2,091
Desvio Padrão (DP)	2,244
Máximo	9,443
Mínimo	-2,761
Primeiro Quartil (P25)	0,673
Terceiro Quartil (P75)	3,557

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados processados no Google Colab (2025)

Por meio da média é possível confirmar o domínio da ilha de calor urbana de 2,368°C no período noturno. Isso significa que em média o percurso urbano ficou 2,368°C mais quente que o rural de referência.

O valor máximo da Ilha de Calor atingido foi de 9,443 °C, classificando o fenômeno de intensidade muito forte, para alguns pontos específicos do trajeto. Esse valor é muito importante para representar o limite superior de desconforto térmico que os habitantes desses locais estão sujeitos.

O desvio padrão de 2,244 °C aponta uma variabilidade extrema, reflexo do extenso trajeto e dos diferentes usos do solo como mencionados por Meireles, França, Peres, 2014; Yang et al. (2025) que utilizaram o desvio padrão como métrica de dispersão térmica em análises de ilha de calor.

O valor mínimo negativo registrado foi de -2,761°C, indicando o fenômeno denominado de ilha de frescor urbana. Este valor extremo indica que a temperatura do trajeto estava 2,761°C mais baixa que a zona rural.

As estatísticas descritivas analisadas quanto a sazonalidade, apontam que o inverno registrou a maior média de ICU, em seguida o outono. Apesar das temperaturas absolutas mais baixas, o inverno apresentou a maior média e variabilidade da ICU, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Análise Estatística Quanto a Sazonalidade

Estação	N amostras	Mínimo °C	Máximo °C	Média °C	Desvio Padrão °C
Verão	-	-	-	-	-
Outono	272	-1,165	5,588	2,296	1,591
Inverno	850	-2,761	9,443	2,516	2,536
Primavera	644	-1,076	7,917	2,202	2,050

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados processados no Google Colab (2025)

O teste de Shapiro-Wilk (Tabela 4) indicou que os dados de temperatura das ICU e umidade não seguem a distribuição normal em nenhum dos meses ($p < 0,05$), justificando o uso de testes não paramétricos para as análises comparativas.

Tabela 4 - Resultados da Aplicação do Teste de Shapiro-Wilk

Variável	Estatística W	Valor p	Normalidade ($p < 0.05$)
ΔTemperatura (ICU)	0,96	0	Não (Rejeita H0)

ΔUmidade (ICU_HR)	0,97	0	Não (Rejeita H0)
--	------	---	------------------

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados processados no Google Colab (2025)

Os resultados do Teste de Kruskal-Wallis (Tabela 5) indicaram diferenças estatisticamente significativas para ambas as variáveis ($p < 0,020$). Esses resultados sugerem que tanto a Δ temperatura quanto a Δ umidade relativa do ar variam significativamente entre os meses avaliados, justificando análises adicionais para identificar quais pares de meses diferem entre si.

Tabela 5 - Resultados da Aplicação do Teste de Kruskal-Wallis

Variável	Estatística H (Chi2)	Graus de Liberdade (df)	Valor p	Significância (p < 0.05)
ΔTemperatura (ICU)	7,85	2	0,020	Sim (p < 0.05)
ΔUmidade (ICU_HR)	355,98	2	0	Sim (p < 0.05)

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados processados no Google Colab (2025)

Já o teste de Dunn com correção de Bonferroni (Tabela 6) mostraram diferenças padrões de sazonalidade para as variáveis analisadas. Para a Δ umidade relativa do ar, todas as comparações entre as estações apresentaram valores p extremamente baixos ($p < 0,001$ na maioria dos casos e $p = 0,0003$ entre inverno e primavera), sugerindo que a Δ umidade relativa do ar é a variável mais dinâmica, no período analisado.

Tabela 6 - Resultados da Aplicação do Teste de Dunn com Correção de Bonferroni

Comparação (Par de Estações)	ΔTemperatura Valor p	Significância (ΔTemperatura)	ΔUmidade Valor p	Significância (ΔUmidade)
Inverno e Primavera	1,00	Não Diferem	0,0003	Diferença Significativa
Inverno e Outono	0,045	Diferença Significativa	0	Diferença Significativa
Primavera e Outono	0,07	Não Diferem	0	Diferença Significativa

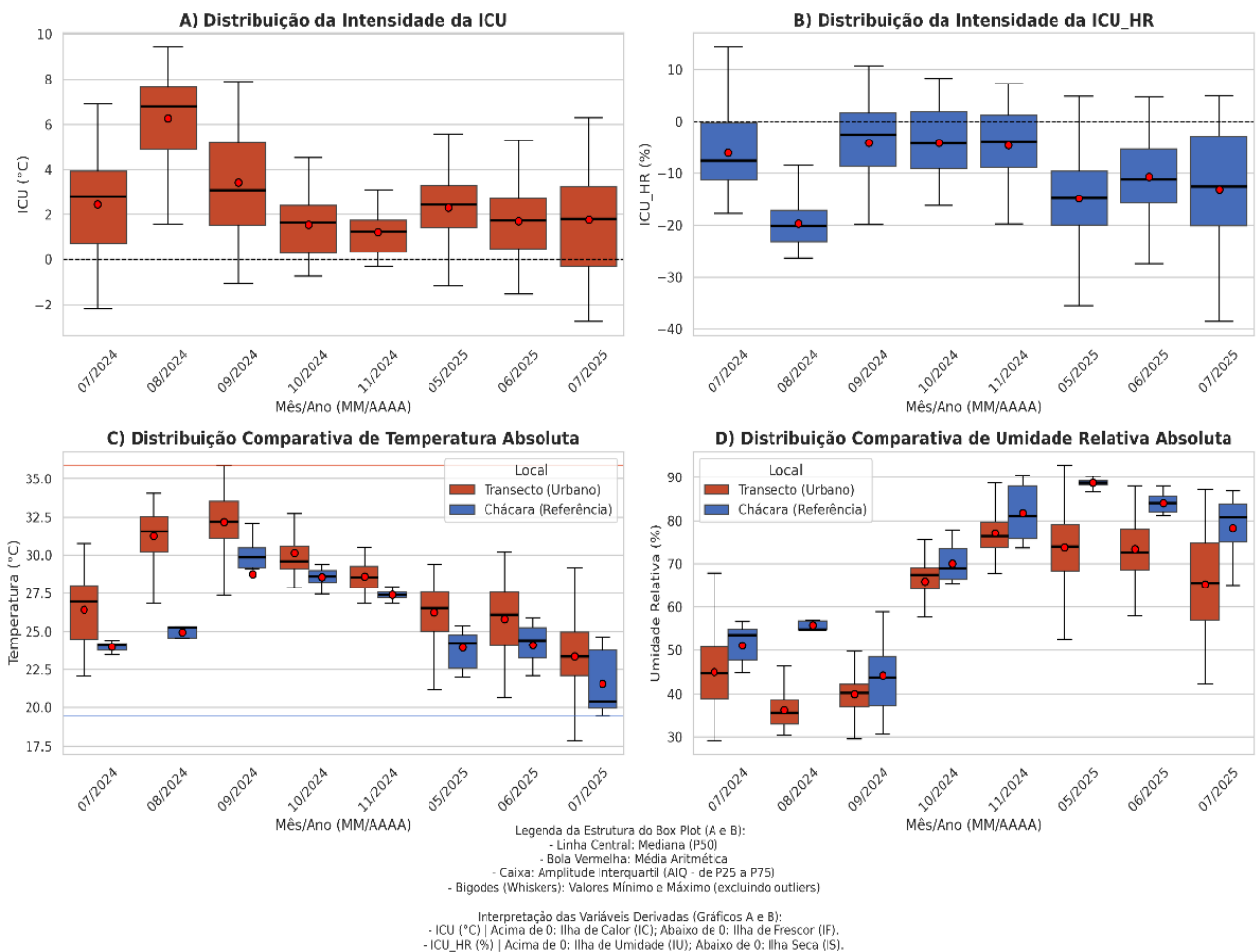
Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados processados no Google Colab (2025)

Em relação à Δ temperatura do ar, o comportamento foi mais homogêneo havendo diferenças significativas somente entre inverno e outono ($p=0,045$) os demais pares não apresentaram diferenças significativas. Vale destacar que a comparação do inverno e a primavera apresentaram uma paridade quase absoluta na intensidade das ilhas de calor.

4.1.2 Análise Visual da Distribuição dos Dados

A Figura 10 apresenta a distribuição dos dados mensais da intensidade das ilhas de calor e frescor (A), bem como a intensidade das ilhas de umidade e seca (B). Para complementar essa análise, foram realizadas comparações da distribuição da temperatura absoluta e umidade relativa do ar absoluta entre o trajeto e o ponto de referência (condomínio horizontal rural), conforme Gráficos C e D, respectivamente, para os meses estudados em 2024 e 2025.

Figura 10 – Boxplot – Distribuição da Intensidade das ICU Por Mês



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados processados no Google Colab (2025)

No gráfico A (intensidade da ICU e IFU) agosto de 2024, destacou-se com o cenário mais crítico, pois é o único período em que a distribuição total dos dados se manteve acima da linha neutra, havendo somente ilhas de calor. A intensidade severa registrou o pico máximo de 9,443°C da ICU neste mesmo mês, seguido em intensidade pelas medianas do mês 09/2024 e 07/2024. Em contraste, os demais meses apresentaram tanto ilhas de calor quanto de frescor.

Ao analisar os meses de julho de 2024 e julho de 2025 tem-se a maior amplitude entre máximas e mínimas, sugerindo uma instabilidade microclimática. Essa oscilação térmica observada em 2025 pode estar associada à ocorrência de veranicos anômalos, os quais tendem a intensificar a variação da temperatura noturna.

Em relação a distribuição da ICU de umidade, gráfico B, o comportamento é inversamente proporcional ao observado na temperatura (ΔT). A predominância das caixas abaixo da linha neutra confirma a persistência de forte ilha de secura urbana (ISU), indicando que a cidade se mantém mais seca que o rural. O mês de agosto de 2024 permanece como o mais crítico, pois apresenta a mediana mais baixa e a menor amplitude interquartil, o que caracteriza um microclima de secura extrema no auge do período seco.

Nos meses finais de 2024 e início de 2025, transição do período seco para o chuvoso, as caixas cruzaram a linha neutra. Isso demonstra que em períodos úmidos a cidade pode apresentar semelhanças à rural, mas a tendência é o déficit de umidade no ambiente construído.

As temperaturas absolutas do gráfico C apresentam uma sazonalidade marcante na temperatura para os meses de junho e julho com medianas mais baixas e com maior amplitude térmica, identificadas pelo tamanho das caixas. Com isso é possível verificar o rápido resfriamento noturno típico de céu claro e ar seco.

A comparação entre as caixas do transecto urbano com a estação de referência (rural), nota-se dentro do mesmo mês, que as medianas urbanas são sistematicamente superiores, confirmando visualmente o aquecimento imposto pela cidade.

Nos meses de agosto e setembro de 2024 as temperaturas se mantiveram elevadas, podendo ser justificadas pela camada de poluição e fumaça proveniente das queimadas que impediram a perda de calor da superfície para a atmosfera.

Ao analisar o gráfico D, nota-se enorme discrepância entre a umidade do transecto com a umidade da estação de referência. Agosto de 2024 apresenta valores de umidade da zona rural muito superiores aos do transecto, que pode ser justificada pelas queimadas registradas. Estes focos de incêndio ocorreram dentro do condomínio horizontal rural, onde a estação de

referência estava localizada e para combater o fogo foi utilizada uma quantidade significativa de água. Toda essa intervenção elevou artificialmente a umidade do local de referência, corroborando para a formação da ISU extrema.

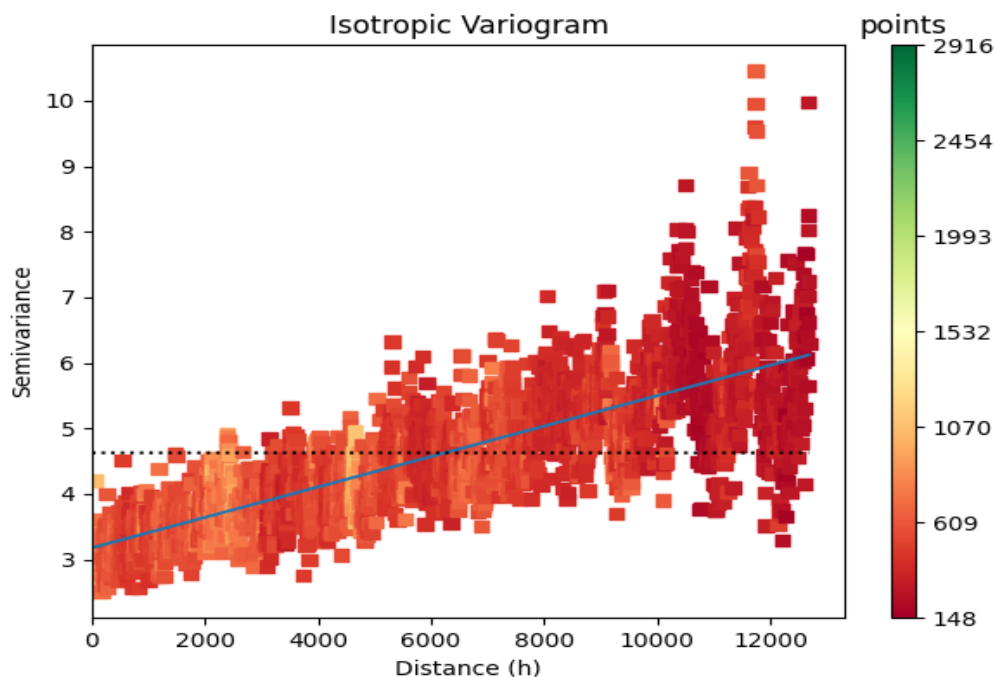
Durante o período chuvoso as caixas das duas áreas se aproximam verticalmente, isso porque a frequente precipitação e a nebulosidade homogeneízam a atmosfera e saturam o ar, reduzindo as diferenças microclimáticas entre o campo e a cidade.

Os resultados evidenciam que a ilha de calor urbana noturna é um fenômeno persistente ao longo do transecto, com intensidade média moderada, porém marcada por extremos térmicos localizados. A elevada variabilidade espacial e sazonal reflete a heterogeneidade do uso e cobertura do solo urbano. Em contraste, a ilha de secura urbana apresenta comportamento mais dinâmico e sensível às condições sazonais e ambientais, configurando-se como um dos principais elementos de desconforto microclimático no período seco.

4.1.3 *Análise Geoestatística e Espacialização da ICU*

Conforme Figura 11, constata-se que o comportamento dos dados não é aleatório pois, os pontos mais próximos apresentam valores semelhantes de ICU, enquanto pontos mais distantes apresentam maior variabilidade nos valores observados.

Figura 11 - Variabilidade Espacial da ICU em Função da Distância



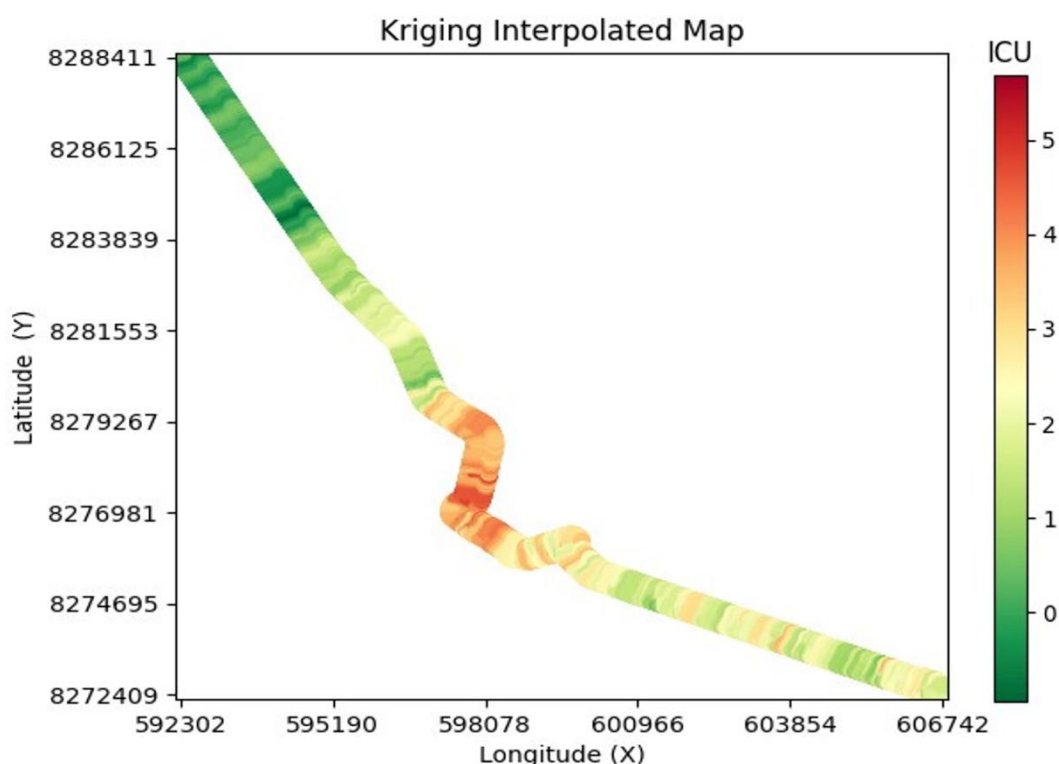
Fonte: Elaborado pela autora por meio do software QGIS (2025)

Essa relação espacial exerce influência por aproximadamente 11 km, conforme evidenciado pelo alcance do variograma. Até essa distância, os valores da ICU apresentam dependência espacial, ou seja, a informação de um ponto contribui para explicar o comportamento térmico dos pontos vizinhos. Após essa distância, a influência espacial deixa de ser significativa.

O efeito pepita reduzido indica que a variabilidade em curtas distâncias e os possíveis erros de medição são praticamente inexpressivos. Dessa forma, a variação da ICU é inteiramente atribuída a organização espacial ao longo do trajeto.

Com base nos resultados do variograma (Figura 11), a krigagem ordinária gerou superfícies contínuas das ICU, evidenciando variações espaciais graduais ao longo do trajeto analisado (Figura 12).

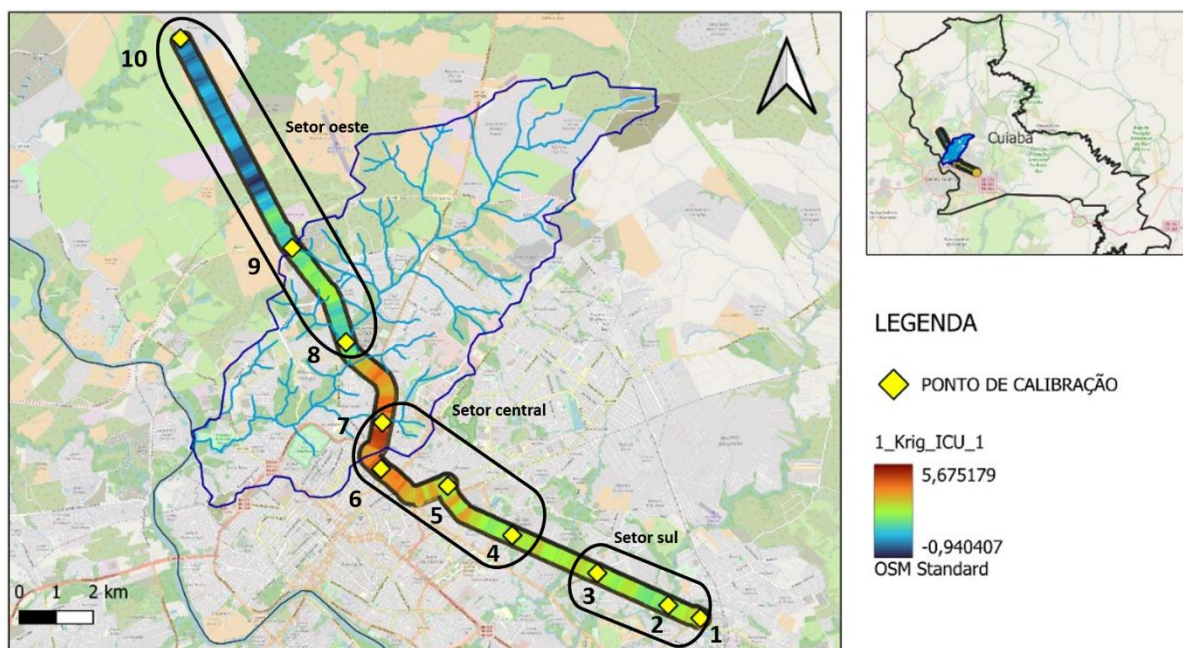
Figura 12 - Interpolação Espacial Da ICU por Krigagem Ordinária



Fonte: Elaborado pela autora por meio do software QGIS (2025)

Para uma melhor visualização dos dados a partir da Figura 12, foi elaborado um mapa com imagens de satélite que georreferenciam o entorno (Figura 13).

Figura 13 - Espacialização Georreferenciada



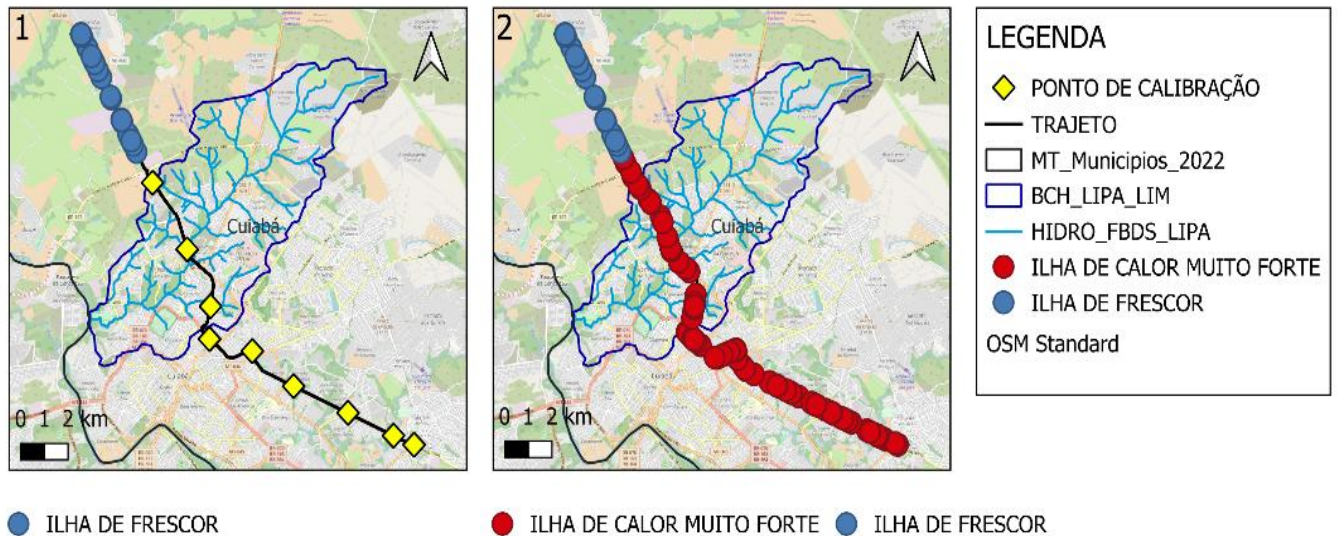
Fonte: Elaborado pela autora por meio do software QGIS (2025)

A maior concentração das ICU foi encontrada no setor central, que compreende os pontos de calibração 4,5,6,7. O ponto 4 corresponde a Avenida das Torres, no entorno tem a presença de alguns condomínios horizontais e mata. Este local é o ponto mais fresco em comparação aos outros deste setor sendo classificado como ICU fraca. Em contrapartida, o ponto 7 é o ponto que apresenta a ICU forte. Ele corresponde ao trecho da avenida Miguel Sutil sentido rodoviária (Figura 13).

O setor oeste apresenta as ilhas de calor mais fracas, que serão discutidas sendo a transição do ponto 9 ao 10, o ápice do frescor.

Para detalhar os pontos térmicos críticos, os mapas a seguir ilustram essa distribuição espacial (Figura 14)

Figura 14 - Espacialização das Ilhas de Frescor e Calor



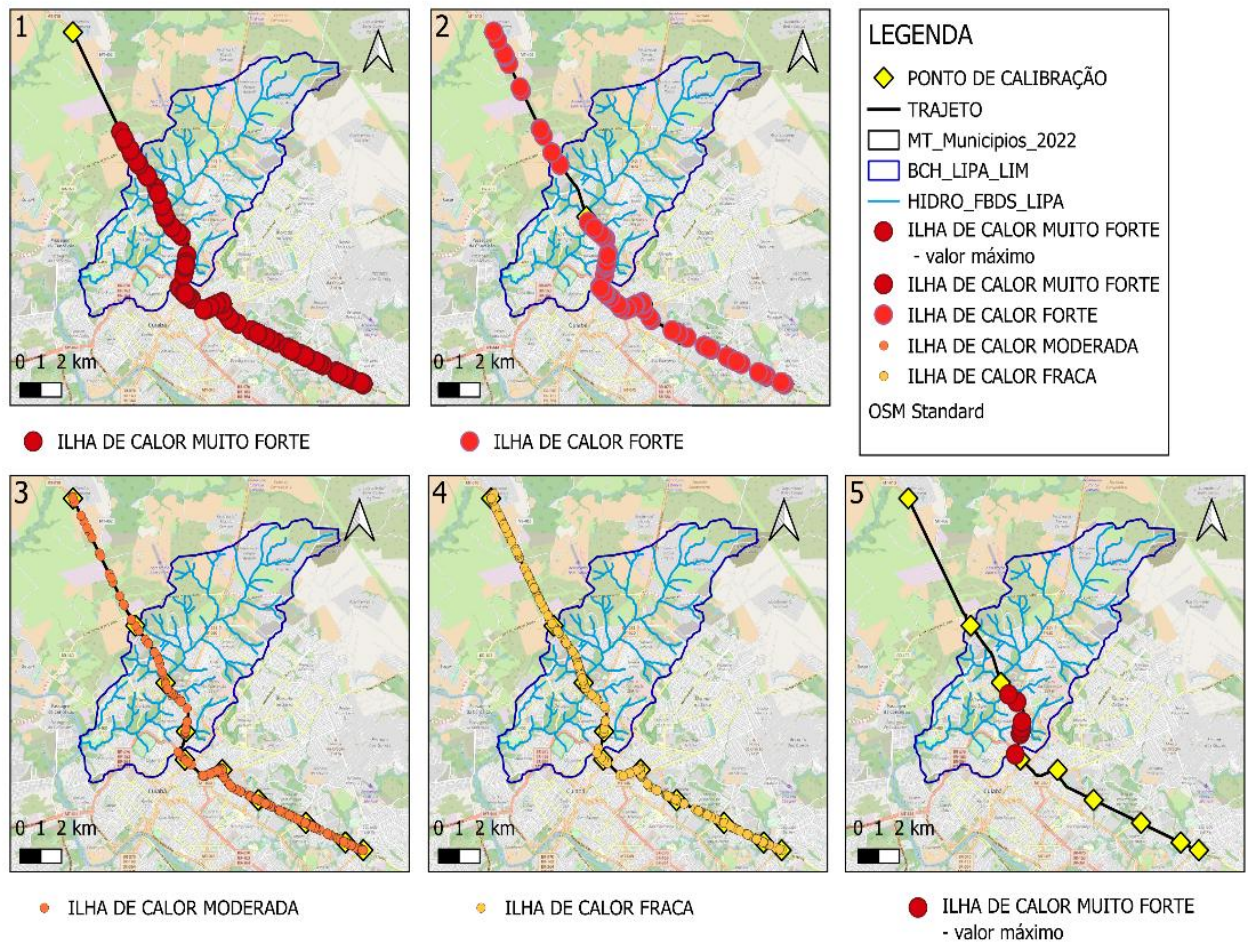
Fonte: Elaborado pela autora por meio do software QGIS (2025)

A análise do Mapa 1 da Figura 14 evidencia que o ápice das ilhas de frescor (atingindo -2°C) consolidou-se no trecho entre os pontos 9 e 10. Esta região demarca a transição do perímetro urbano para o rural, onde a predominância da cobertura vegetal e a baixa rugosidade da superfície potencializam a eficiência do resfriamento noturno.

A análise do Mapa 2 da Figura 14 evidencia a interação das ilhas de calor muito forte (acima de 6°C) e frescor (-2°C) ocorre logo após o perímetro urbano. Este trecho atua como uma zona de amortecimento climático, desempenhando um papel importante na regulação térmica pois favorece a troca de calor junto das injeções de ar mais fresco em direção a porção urbana, as chamadas brisas do campo (Oke et al., 2017).

A Figura 15 espacializa as ocorrências de aquecimento urbano em diferentes gradientes térmicos (Mapas de 1 a 5). A representação abrangendo todo o espectro de intensidades registradas desde as ilhas de calor de magnitude fraca até as que se configuram muito forte, evidenciando os núcleos críticos de desconforto.

Figura 15 - Espacialização das Ilhas de Calor



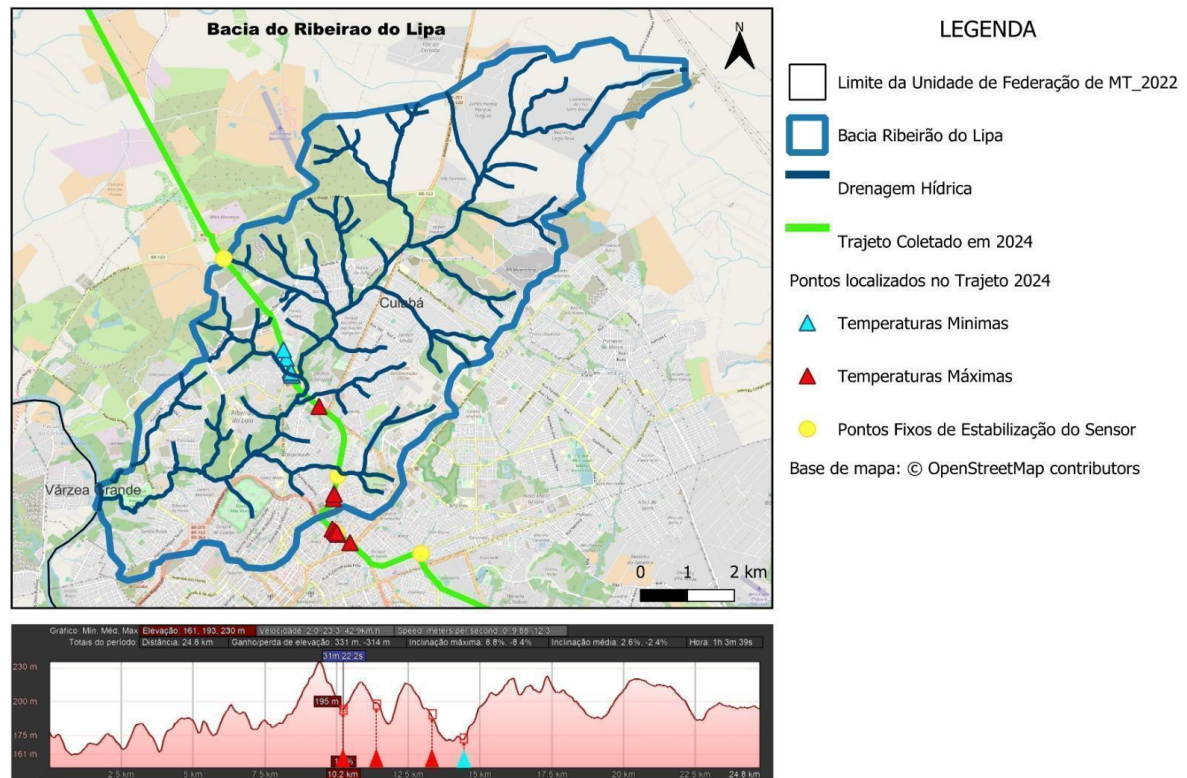
Fonte: Elaborado pela autora por meio do software QGIS (2025)

Observa-se que as ilhas de calor de intensidade fraca e moderada (Mapas 3,4 da Figura 15) possuem grande distribuição espacial, cobrindo praticamente toda a extensão do trajeto. No entanto, nota-se que onde há núcleos de calor mais intenso a ocorrência de categorias mais leve é suprimida. As ilhas de calor muito forte cobrem apenas parcialmente o percurso, restringindo-se aos trechos de maior densidade urbana (Mapa 5, Figura 15).

4.2 Análise dos Dados da Bacia do Ribeirão do Lipa

Neste recorte de 7,2km, foi realizada a correlação entre temperaturas extremas e uso do solo dentro da Bacia (Figura 16).

Figura 16 - Temperaturas Máximas e Mínimas dos Pontos de Coleta da Bacia



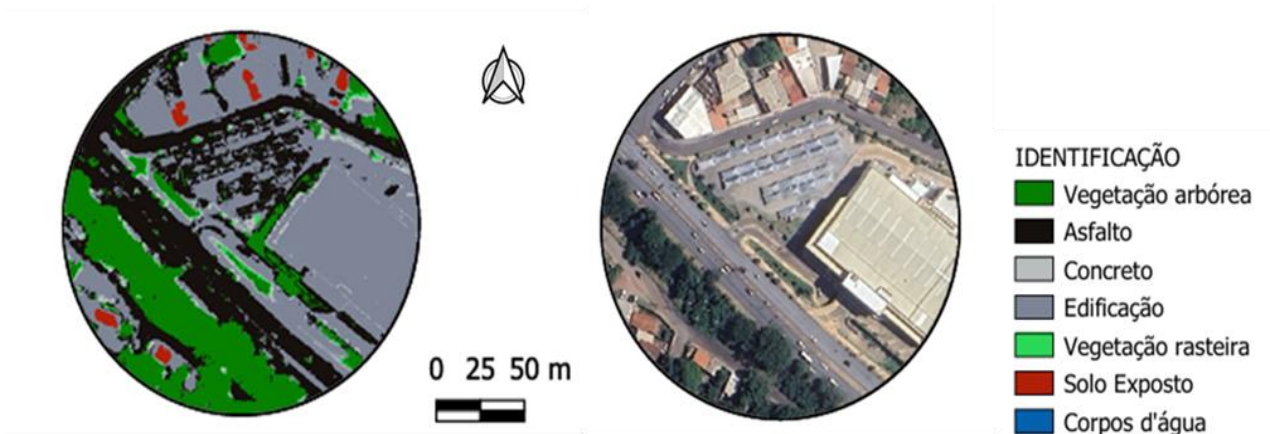
Fonte: Adaptado, IBGE (2022), INEMAT (2022), Persona et al. (2026).

As temperaturas máximas apresentaram uma característica atípica, pois ocorreram em pontos de maior altitude. Conforme Rochette Cordeiro et al. (2023) isso pode ser justificado pelas poças de ar frio que se formam nos vales após o pôr do sol, em função da densidade do ar resfriado, além de fatores físicos e antrópicos que coincidem com a distribuição de calor.

Para quantificar essa influência, analisaram-se três porções urbanas distintas, dois pontos de maior temperatura, e um de menor temperatura respectivamente, nas quais a influência da urbanização foi analisada de forma quantitativa em função das classes de cobertura do solo.

Na porção urbana 1 (ponto central: 15°36'59" S, 56°06'38" O), registrou-se temperatura máxima de 35,6 °C (Figura 17). Nessa área 77,0 % da superfície é ocupada por coberturas impermeáveis (35,6 % de edificações, 22,4 % de concreto e 19,0 % de asfalto), enquanto as coberturas permeáveis totalizam 23,0 %, distribuídas em 17,2 % de vegetação arbórea, 3,3 % de solo exposto e 2,5 % de vegetação rasteira.

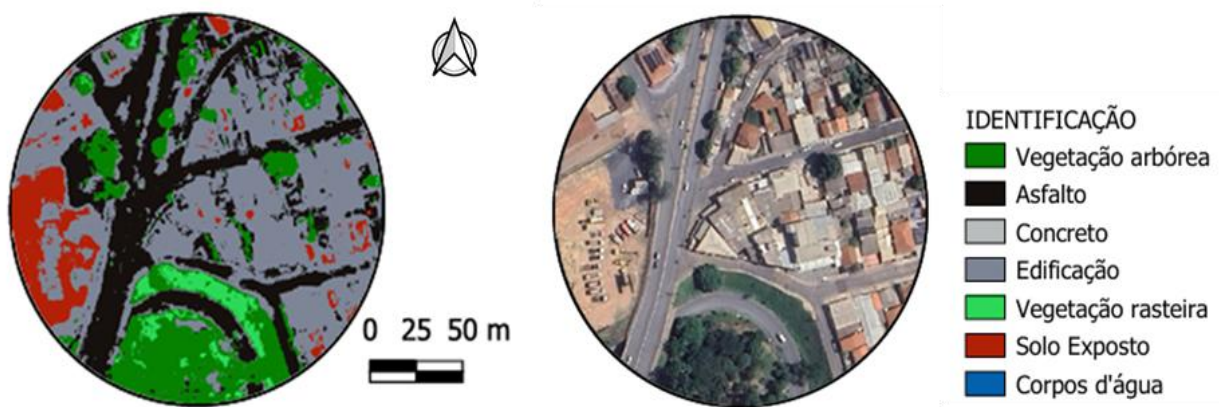
Figura 17 - Porção Urbana 1



Fonte: Persona et al. (2026).

Na porção urbana 2, obteve-se o mesmo valor máximo de 35,6 °C (Figura 18). Com as mesmas coordenadas centrais (medição no mesmo trajeto), 65,3 % da área é impermeável, sendo 41,6 % de edificações e 23,8 % de asfalto. As coberturas permeáveis representam 34,7 %, distribuídas em 14,3 % de vegetação arbórea, 16,0 % de solo exposto e 4,4 % de vegetação rasteira.

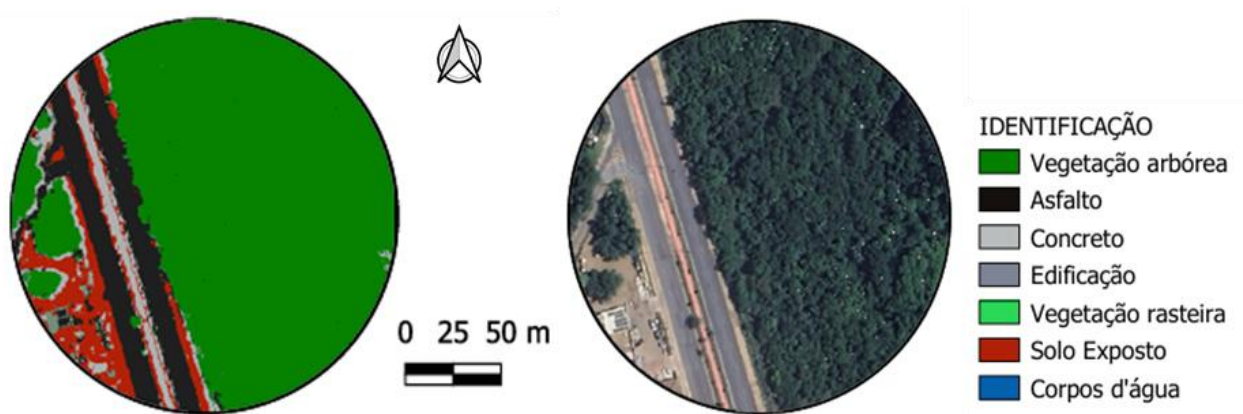
Figura 18 - Porção Urbana 2



Fonte: Persona et al. (2026).

A porção urbana 3 apresentou a menor temperatura, 32,23 °C (Figura 19), e também a menor proporção de área impermeável (21,4 %): 14,7 % de asfalto, 5,7 % de concreto e 1,0 % de edificação. As áreas permeáveis totalizam 78,6 %, com destaque para 74,2 % de vegetação arbórea, além de 4,0 % de solo exposto e 0,5 % de vegetação rasteira.

Figura 19 - Porção Urbana 3



Fonte: Persona et al. (2026).

A comparação revela que, nas porções com mais de 65 % de superfície impermeável (1 e 2), a temperatura atingiu 35,6 °C, evidenciando o efeito de ilha de calor gerado pelo concreto, asfalto e edificações. Já a porção 3, dominada por vegetação arbórea, manteve-se em 32,23 °C, demonstrando o poder atenuante do sombreamento e da evapotranspiração das árvores.

5. CONCLUSÃO

A metodologia adotada, que combinou transectos móveis a dados da estação fixa, foi determinante para identificar que as anomalias microclimáticas observadas são resultantes diretas da alteração da cobertura do solo. O exame desses efeitos em duas escalas permitiu uma análise que abrange desde o cenário macro (trajeto total) até o local (recorte Bacia).

Os resultados estatísticos corroboraram essas diferenças, mostrando variações sazonais marcantes. As temperaturas aumentaram progressivamente entre os meses de julho e setembro, enquanto a umidade relativa do ar apresentou comportamento inverso, com redução acentuada durante o período analisado. Essas variações sazonais refletem a influência das características climáticas locais, agravadas pela perda de vegetação e pela expansão urbana desordenada.

A análise do percurso completo, que se estendeu do setor sul da cidade (pontos 1,2,3), passando pelo setor central (pontos 4,5,6,7) ao setor oeste (pontos 8,9 e 10), evidenciou uma atenuação térmica à medida que se avança em direção às áreas rurais. Os resultados demonstraram que a cidade apresenta, em média, uma temperatura $2,37^{\circ}\text{C}$ superior ao campo e que as regiões centrais atingem picos de intensidade muito forte, com ICU de até $9,44^{\circ}\text{C}$ em situações críticas. O período da seca mostrou-se o cenário de maior desconforto térmico e hídrico marcado por severas ilhas de secura (ISU), reforçando grande parte dos estudos realizados no período noturno que comprovam a existência das ICU na cidade.

A análise do recorte da Bacia do Ribeirão do Lipa (pontos 6,7,8,9) proporcionou uma maior riqueza de detalhes locais, revelando as possíveis causas desse aquecimento. A morfologia urbana atuou como retentora de energia devido às evidentes porções com elevadas taxas de impermeabilização e densidade construtiva, favorecendo os picos de calor. Por outro lado, áreas da Bacia que com alta taxa de preservação de massa arbórea, aliada a baixas altitudes, regulam a temperatura local, criando pequenas zonas de amortecimento sendo denominadas de ilhas de frescor, com uma diferença de até $3,37^{\circ}\text{C}$ no período noturno. Assim, a Bacia atua como célula climática, dependendo da sua ocupação.

Portanto, a substituição da paisagem natural por superfícies artificiais compromete o equilíbrio microclimático de todo o trajeto da expansão urbana. Diante disso, a preservação das áreas verdes remanescentes, aliada ao planejamento urbano de Cuiabá com implementação de estratégias de infraestrutura verde, são necessidades urgentes para mitigar a intensidade das ilhas de calor e promover a resiliência climática e a qualidade de vida da população.

Este trabalho destaca a importância de políticas públicas que equilibrem desenvolvimento urbano e preservação ambiental, promovendo um crescimento sustentável para Cuiabá.

Conclui-se que a presente pesquisa atingiu o seu objetivo principal de diagnosticar o comportamento microclimático na direção sul-oeste de Cuiabá/MT, proporcionando uma compreensão integrada da dinâmica térmica entre a zona urbana e a zona rural.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa que evidenciam a determinante influência da cobertura do solo na formação de microclimas urbanos, sugerem-se algumas recomendações para futuras investigações:

- a) Incorporação de novas tecnologias de sensoriamento remoto e softwares computacionais para análises multitemporais o que possibilitaria diferentes simulações e impactos de diferentes intervenções urbanísticas.
- b) Valorização Imobiliária: investigar a correlação entre as variáveis microclimáticas e a valorização imobiliária em Cuiabá, como a regulação urbana interage com os fatores microclimáticos na formação de preços por meio das ilhas imobiliárias.
- c) Expansão da análise para outros vetores de crescimento da cidade, integrando os diagnósticos térmicos às leis de zoneamento e uso do solo avaliar se as atuais exigências de taxa de permeabilidade são suficientes e como a regulação urbana (coeficientes de aproveitamento) interage com os fatores climáticos, visando subsidiar políticas públicas que alinhem densidade construtiva e qualidade ambiental.

7. REFERÊNCIAS

- ALVES, Elis Dener Lima. **Caracterização microclimática do campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.
- AYOADE, Joseph Oluwole. **Introdução à Climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro, RJ: Bertrand Brasil, 1996.
- BARBIRATO, Gianna Melo; TORRES, Simone Carnaúba; SOUZA, Lea Cristina Lucas de. **Clima urbano e eficiência energética nas edificações**. Rio de Janeiro, RJ: Eletrobras / PROCEL, 2011.
- BRITO, Paula Valéria de Carvalho. **Análise espaço-temporal das ilhas de calor urbanas de superfície na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2018.
- CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio *et al.* Relationship between land use/cover and surface temperatures in the urban agglomeration of Cuiabá-Várzea Grande, Central Brazil. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 5, n. 1, p. 053569, 1 jan. 2011.
- CASTIGLIA FEITOSA, Renato *et al.* Wind and greenery effects in attenuating heat stress: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 291, p. 125919, abr. 2021.
- COLTRI, Priscila *et al.* Changes in land cover and use affect the local and regional climate in Piracicaba, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 2, n. 2, p. 68–74, 31 dez. 2008.
- COLTRI, Priscila Pereira. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.
- COURY, Bruno Sigolo; MASIERO, Erico; KRUGER, Eduardo. Confounding effects of harvesting on urban heat island intensity in a mid-sized city in Brazil. **Urban Climate**, v. 46, p. 101276, dez. 2022.
- CUIABÁ. **Lei Complementar No 389 de 03 de novembro de 2015. Uso e Ocupação do Solo de Cuiabá**, 3 nov. 2015.
- CUIABÁ. **Lei Complementar nº 516, de 16 de junho de 2022. Código de Obras de Cuiabá**, 16 jun. 2022.
- DE AZEVEDO, Thiago S. *et al.* The influence of urban heat islands and socioeconomic factors on the spatial distribution of *Aedes aegypti* larval habitats. **Geospatial Health**, v. 13, n. 1, 8 maio 2018.
- DE OLIVEIRA, Simone Berigo Büttner. **O impacto da arborização viária no conforto térmico**. Tese (Doutorado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2023.

DIÁRIO DE CUIABÁ. **Veranico faz temperatura subir acima da média em MT.** Jornal. Disponível em: <<https://www.diariodecuiaba.com.br/cidades/veranico-faz-temperatura-subir-acima-da-media-em-mt/716306>>. Acesso em: 19 ago. 2025.

DIAS, Felipe De Almeida; GOMES, Luiz Airton; ALKMIM, Jacqueline Kayser De. Avaliação da qualidade ambiental urbana da Bacia do Ribeirão do Lipa através de indicadores, Cuiabá/MT. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 1, p. 127–147, 2011.

DORIGON, Larissa Piffer; AMORIM, Margarete Cristiane De Costa Trindade. Spatial modeling of an urban Brazilian heat island in a tropical continental climate. **Urban Climate**, v. 28, p. 100461, jun. 2019.

DROSTE, A. M. *et al.* Crowdsourcing Urban Air Temperatures through Smartphone Battery Temperatures in São Paulo, Brazil. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 34, n. 9, p. 1853–1866, set. 2017.

FERREIRA, Mauricio Jonas; DE OLIVEIRA, Amauri Pereira; SOARES, Jacyra. Diurnal variation in stored energy flux in São Paulo city, Brazil. **Urban Climate**, v. 5, p. 36–51, out. 2013.

FGV PROJETOS. **Plano Municipal de Saneamento Básico: revisão 2017/2018 – abastecimento de água e esgotamento sanitário.** Cuiabá, MT: FGV Projetos., 2019. Disponível em: <https://niesa.ufmt.br/wp-content/uploads/2023/10/Cuiaba_PMSB.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

FOLHAMAX. **“Veranico” começa nesta quarta com calor fora de época.** Disponível em: <<https://www.folhamax.com/cidades/veranico-comeca-nesta-quarta-com-calor-fora-de-epoca/507543>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

FRAPORTI, Frank Giordany Aquino; ROMANCINI, Sônia Regina. Delimitação de distritos e áreas urbanas no planejamento da expansão urbana em Cuiabá (MT). **Terra Livre**, v. 1 (54), p. 280–320, 2020.

GRIMMOND, Sue. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **The Geographical Journal**, v. 173, n. 1, p. 83–88, mar. 2007.

HOUSEL, Morgan. **A psicologia financeira.** Rio de Janeiro, RJ: HarperCollins Brasil, 2021.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia.** Meteorologia. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2025.

INMET. **BALANÇO: em março, déficit de chuvas em Cuiabá foi de 87,7 mm.** Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/balanço-em-março-déficit-de-chuvas-em-cuiabá-foi-de-87-7-mm>>. Acesso em: 28 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estado do Brasil.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/cuiaba/panorama>>. Acesso em: 29 out. 2024.

LEAL, Luciana; BIONDI, Daniela; BATISTA, Antonio Carlos. Daily periodic temperature variation in the city of Curitiba, Paraná. **Daily periodic temperature variation in the city of Curitiba, Paraná**, v. 3, n. 2, p. 201–208, 2016.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MAITELLI, Gilda Tomasini. **Abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas—São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

MEIRELES, Victor Hugo Pezzini de; FRANÇA, José Ricardo de Almeida; PERES, Leonardo F. A Study of the Phenomenon of Urban Heat Island in Rio de Janeiro Metropolitan Region. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 37, n. 2, p. 180, 28 nov. 2014.

MIRANDA, Nivea Morena Gonçalves. **Análise espacial da suscetibilidade à inundação da Bacia hidrográfica do Ribeirão do Lipa, Cuiabá – MT**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental)—Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MOHAN, Manju; KANDYA, Anurag. Impact of urbanization and land-use/land-cover change on diurnal temperature range: A case study of tropical urban airshed of India using remote sensing data. **Science of The Total Environment**, v. 506–507, p. 453–465, fev. 2015.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e clima urbano Um projeto e seus caminhos. **Teoria e clima urbano Um projeto e seus caminhos**, p. 18, 1976.

MONTEIRO, Leonardo Marques; ALUCCI, Márcia Peinado. Comparação cruzada entre pesquisas laboratoriais e de campo em conforto térmico em espaços abertos urbanos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 79–101, dez. 2010.

MOREIRA, Jéssica de Souza; FARIA, Thiago de Oliveira. Multitemporal Evolution of Land Cover and Occupation in the Ribeirão do Lipa Basin, Cuiabá-MT. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 4, p. 163–171, 12 dez. 2019.

NACCARATO, K. P.; PINTO, O.; PINTO, I. R. C. A. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 13, p. 2003GL017496, jul. 2003.

NEIVA, Henderson; DA SILVA, Michele; CARDOSO, Cristiane. Analysis of Climate Behavior and Land Use in the City of Rio de Janeiro, RJ, Brazil. **Climate**, v. 5, n. 3, p. 52, 14 jul. 2017.

NINCE, Paulo. **Vegetação e revestimentos urbanos: implicações na sensação térmica dos usuários do campus da UFMT em Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, fev. 2013.

NOGUEIRA, José Hélio Abreu; FERNANDES, Roseanne Machado. **Meteorologia Geral**. Guaratinguetá, SP: Comando da Aeronáutica escolas de especialistas de Aeronáutica, 2005.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites: Instruments and Observing Methods**. Geneva: World Meteorological Organization (WMO), 2004.

OKE, T. R. *et al.* **Urban Climates**. 1. ed. [S.l.]: Cambridge University Press, 2017.

OKE, Timothy R. **Boundary layer climates**. Second edition ed. London: Methuen & Co, 1987.

OLIVEIRA, Angela Santana *et al.* BENEFÍCIOS DA ARBORIZAÇÃO EM PRAÇAS URBANAS - O CASO DE CUIABÁ/MT. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 9, p. 1900–1915, 18 fev. 2013.

PERSONA, Isabela Chiquito *et al.* Os efeitos da urbanização na variação da temperatura e umidade do ar na Bacia do Ribeirão do Lipa em Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 22, 2026.

REICHARDT, Klaus; TIMM, Luís. **Solo, Planta e Atmosfera**. 476. ed. Barueri, SP: Manole, 2004.

RIBEIRO, Flávia Noronha Dutra *et al.* Impact of different transportation planning scenarios on air pollutants, greenhouse gases and heat emission abatement. **Science of The Total Environment**, v. 781, p. 146708, ago. 2021.

RIBEIRO, Karyn Ferreira Antunes. **Calibração do índice de conforto térmico pet (temperatura fisiológica equivalente) em espaços abertos para a cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2019.

RIBEIRO, Marina Pannunzio *et al.* Impacts of urban landscape pattern changes on land surface temperature in Southeast Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 33, p. 101142, jan. 2024.

RIBEIRO SOBRAL, Helena. Heat island in São Paulo, Brazil: Effects on health. **Critical Public Health**, v. 15, n. 2, p. 147–156, jun. 2005.

ROCHETTE CORDEIRO, António M.; ORNELAS, Alexandre; SILVA, Djime Dourado. The importance of topography in the formation of cold-air pooling in urban spaces. The example of the city of Coimbra (Portugal). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 152, n. 1–2, p. 227–239, abr. 2023.

ROMERO RODRÍGUEZ, Laura *et al.* Analyzing the urban heat Island: Comprehensive methodology for data gathering and optimal design of mobile transects. **Sustainable Cities and Society**, v. 55, p. 102027, abr. 2020.

ROSEN, Sherwin. Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. **Journal of Political Economy**, v. 82, n. 1, p. 34–55, jan. 1974.

SANTOS, Fernanda Marcielli. **Proposta de Rede Neural Artificial para Previsão do Conforto Térmico Utilizando o ASHRAE Global Thermal Comfort DataBase II**. Tese (Doutorado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2022.

SANTOS, Flávia. **Influência da ocupação do solo na variação termo-higrométrica na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado em Física Ambiental)—Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.

SANTOS, Flávia Maria De Moura *et al.* Análise do clima urbano de Cuiabá-MT-Brasil por meio de transectos móveis. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 11, p. 45–54, 2014.

SANTOS JUNIOR, Elias Lira dos; SILVEIRA, Alexandre. Educação ambiental aplicada na sub-Bacia do Ribeirão do Lipa – Cuiabá – MT. 2011.

SHINZATO, Paula. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura)—São Paulo: Universidade de São Paulo, 24 abr. 2009.

SILVEIRA, Ana Lúcia. **Parâmetros bioclimáticos para avaliação de conjuntos habitacionais na região tropical subúmida do Brasil**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo)—Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

SMDU, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Perfil socioeconômico de Cuiabá**. Cuiabá, MT: Prefeitura Municipal de Cuiabá, 2012.

SOUZA, Diego Oliveira de; ALVALÁ, Regina Célia Dos Santos; NASCIMENTO, Marília Guedes Do. Urbanization effects on the microclimate of Manaus: A modeling study. **Atmospheric Research**, v. 167, p. 237–248, jan. 2016.

SOUZA, Joseane de; TERRA, Denise Cunha Tavares. Rio de Janeiro: rumo a uma nova região metropolitana? **Cadernos Metrópole**, v. 19, n. 40, p. 817–840, dez. 2017.

SOUZA, Roberta Daniela *et al.* Urban microclimate and comfort indices in vegetated and non-vegetated areas in wet and dry periods. **R. D.**, v. 47, n. 1, p. 136–149, 2020.

TARGINO, Admir Crésio; CORAIOLA, Guilherme Conor; KRECL, Patricia. Green or blue spaces? Assessment of the effectiveness and costs to mitigate the urban heat island in a Latin American city. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 136, n. 3–4, p. 971–984, maio 2019.

TEIXEIRA, Danielle Cardozo Frasca; AMORIM, Margarete Cristiane De Costa Trindade. Multicriteria Spatial Modeling: Methodological Contribution to the Analysis of Atmospheric and Surface Heat Islands in Presidente Prudente, Brazil. **Climate**, v. 10, n. 4, p. 56, 4 abr. 2022.

ULRICH, Roger S. Effects of interior design on wellness: theory and recent scientific research. p. 97–109, 1991.

UNRIC. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. Nações Unidas – ONU Portugal. Disponível em: <<https://unric.org/pt/onu-preve-que-cidades-abriguem-70-da-populacao-mundial-ate-2050/>>. Acesso em: 14 nov. 2025.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2 ed. Recife: [S.n.].

WOLLMANN, Cássio Arthur *et al.* Thermo-Hygrometric Variability on Waterfronts in Negative Radiation Balance: A Case Study of Balneário Camboriú/SC, Brazil. **Atmosphere**, v. 12, n. 11, p. 1453, 3 nov. 2021.

YANG, Nuocheng *et al.* Exploring spatial–temporal evolution patterns of urban heat islands in summer and winter: evidence from a megacity of China. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 13592, 19 abr. 2025.