

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO

CHRISTIANE ALVES ARAÚJO

**INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA DE DIFERENTES ZONAS  
CLIMÁTICAS LOCAIS NOS MICROCLIMAS DE MACEIÓ - AL**

MACEIÓ-AL  
2023

CHRISTIANE ALVES ARAÚJO

**INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA DE DIFERENTES ZONAS  
CLIMÁTICAS LOCAIS NOS MICROCLIMAS DE MACEIÓ - AL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues  
Barbosa

MACEIÓ - AL  
2023

**Catálogo na Fonte Universidade  
Federal de Alagoas Biblioteca Central  
Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

A663i Araújo, Christiane Alves.

Influência da morfologia urbana de diferentes zonas climáticas locais nos microclimas de Maceió - AL / Christiane Alves Araújo. – 2023.  
114 f. : il. color.

Orientador: Ricardo Victor Rodrigues Barbosa.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 100-108.

Apêndices: f. 109-114.

1. Zona Climática Local. 2. Planejamento urbano. 3. Microclimatologia - Maceió (AL). I. Título.

CDU: 711.4:551.584

## Folha de Aprovação

**CHRISTIANE ALVES ARAÚJO**

### **INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA DE DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS NOS MICROCLIMAS DE MACEIÓ - AL.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente

RICARDO VICTOR RODRIGUES BARBOSA

Data: 14/07/2023 18:02:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Victor Rodrigues Barbosa  
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente



Jose Francisco de Oliveira Junior

Data: 04/05/2021 14:50:26-0300

CPF: 894.868.894-49

---

Examinador Interno: Prof. Dr. José Francisco de Oliveira  
Júnior(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente



HELIOFABIO BARROS GOMES

Data: 05/06/2023 15:02:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador Interno: Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes  
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente



ERICO MASIERO

Data: 02/06/2023 16:55:01-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador Externo: Prof. Dr. Érico Masiero  
(Universidade Federal de São Carlos)

Aos meus pais, Leonardo e Simone e meu  
esposo Arthur Filipe.

## AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão em meu coração, dedico esta dissertação a Deus, cuja grandiosidade tem sido minha fonte de força, determinação e coragem ao longo desta jornada. É com profunda emoção que reconheço Sua presença constante em cada etapa da minha trajetória acadêmica.

Não posso deixar de expressar minha profunda gratidão aos meus amados pais, Leonardo e Simone, e ao meu querido esposo, Arthur Filipe. Seu apoio incondicional e incentivo constante foram fundamentais para a minha formação. Vocês estiveram ao meu lado durante toda essa jornada, compartilhando vitórias e superando desafios juntos.

Aos meus colegas de turma e aos queridos amigos da linha 2, meu coração se enche de gratidão por todos os momentos de alegria e ajuda que compartilhamos, mesmo que tenhamos nos conectado apenas através de telas de computador. O primeiro ano de mestrado coincidiu com o início da pandemia, um momento extremamente difícil para todos nós. O apoio e a solidariedade que recebi de vocês foram inestimáveis.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao professor Ricardo Cabús por suas orientações valiosas e por todos os ensinamentos que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Agradeço também a toda a equipe do Grilu, em especial ao Pedro Ribeiro, por sua generosidade em me auxiliar em diversas ocasiões.

Aos meus professores do mestrado e aos membros da banca, Juliana Oliveira, Érico Masiero, Heliofábio Gomes e José Júnior, desejo expressar minha profunda gratidão pelas contribuições significativas para o desenvolvimento desta dissertação. Seus conhecimentos e orientações foram essenciais para a qualidade deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao meu orientador, professor Ricardo Barbosa, pelo acolhimento caloroso, paciência incansável e apoio constante. Sem sua orientação dedicada, eu não teria alcançado este marco tão significativo. Sua confiança em meu potencial e seu comprometimento com meu crescimento acadêmico serão sempre lembrados.

Não posso deixar de expressar minha gratidão à Universidade Federal de Alagoas por me proporcionar esta oportunidade transformadora. Sinto-me profundamente honrada por ter feito parte dessa instituição de excelência.

O mundo está nas mãos daqueles que têm a  
coragem de sonhar e de correr o risco de viver  
seus sonhos.  
- Paulo Coelho

## RESUMO

O método de classificação de Zonas Climáticas Locais (LCZs) define e categoriza áreas urbanas de acordo com suas características climáticas locais, com vistas a orientar o planejamento urbano sustentável e os estudos de Ilhas de Calor Urbano. Dessa forma, esta dissertação analisou a influência da morfologia urbana caracterizada por diferentes LCZs no comportamento higrômico, em escala de abordagem microclimática, na cidade de Maceió - AL. Os procedimentos metodológicos consistiram *nas seguintes* etapas: (a) identificação de diferentes LCZs na malha urbana da cidade de acordo com a proposta metodológica de Stewart & Oke (2012); (b) seleção de pontos amostrais classificados com diferentes LCZs na etapa anterior; (c) campanha de monitoramento para registro de dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, na escala microclimática, de 9 pontos amostrais selecionados por meio do método de pontos fixos, com diferentes características de ocupação do solo representativas de diferentes LCZs em Maceió. Foram identificados sete LCZs, sendo seis de tipologias de construção (2, 3, 5, 6, 9, 10) e uma de subclassificação (9B) nos pontos escolhidos na cidade. Além disso, os resultados de temperatura e umidade relativa do ar indicaram que as LCZs 3 apresentaram as temperaturas do ar mais elevadas e os menores valores de umidade relativa do ar, pela ausência de vegetação, além da densidade construtiva e a grande quantidade de solo impermeável, enquanto as LCZs 9 apresentaram as temperaturas do ar menos intensas e os valores de umidade relativa do ar mais elevados, devido à presença de áreas permeáveis, o sombreamento gerado pelas copas das árvores e solo natural. Por fim, observou-se que a morfologia urbana, caracterizada a partir da classificação das áreas em LCZs contribui para formação de microclimas distintos na cidade e que o presente estudo não esgota a discussão sobre a temática em Maceió. Outrossim, dá os primeiros passos para outras pesquisas sobre a influência de diferentes LCZs na conformação de microclimas, com vistas a futuros desdobramentos em recomendações para o planejamento urbano-ambiental da cidade que considere as particularidades geográficas, incluindo o clima local.

**Palavras-Chave:** Zona Climática Local, LCZ, Planejamento Urbano, Microclima.

## ABSTRACT

The Local Climate Zones (LCZs) classification method defines and categorizes urban areas according to their local climatic characteristics, aiming to guide sustainable urban planning and Urban Heat Island studies. Therefore, this dissertation analyzed the influence of urban morphology characterized by different LCZs on hygrothermal behavior at a microclimatic scale in the city of Maceió, AL, Brazil. The methodological procedures consisted of the following steps: (a) identification of different LCZs within the urban fabric of the city according to the method proposed by Stewart & Oke (2012); (b) selection of sample points classified with different LCZs from the previous step; (c) monitoring campaign to record air temperature and relative humidity data at a microclimatic scale from 9 selected sample points using the fixed-point method, representing different land use characteristics associated with different LCZs in Maceió. Seven LCZs were identified, including six building typologies (2, 3, 5, 6, 9, 10) and one subclass (9B) within the chosen sample points in the city. Furthermore, the results of air temperature and relative humidity indicated that LCZs 3 presented higher air temperatures and lower relative humidity values due to the absence of vegetation, high building density, and a large amount of impermeable surfaces. Conversely, LCZs 9 exhibited lower air temperatures and higher relative humidity values due to the presence of permeable areas, shading provided by tree canopies, and natural soil conditions. In conclusion, it was observed that urban morphology, characterized by the classification of areas into LCZs, contributes to the formation of distinct microclimates in the city. This study does not exhaust the discussion on the subject in Maceió but rather takes the first steps towards further research on the influence of different LCZs in shaping microclimates. These findings aim to provide recommendations for urban and environmental planning in the city, considering its geographical particularities, including the local climate.

**Keywords:** Local Climate Zone, LCZ, Urban Planning, Microclimate.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Seção transversal generalizada de uma típica ilha de calor urbana.....	20
<b>Figura 2</b> - Fotografia convertida pelo software Rayman para cálculo do parâmetro de FVC	28
<b>Figura 3</b> - Quantidade de publicações por Continente .....	30
<b>Figura 4</b> - Quantidade de publicações por área temática .....	51
<b>Figura 5</b> - Quantidade de publicações por ano .....	51
<b>Figura 6</b> - Nuvem de palavras gerada a partir dos títulos, resumos e palavras-chaves usadas nos trabalhos selecionados.....	54
<b>Figura 7</b> - Mapa do Brasil mostrando Alagoas e cidade de Maceió .....	64
<b>Figura 8</b> - Formas de relevo e hidrografia do sítio urbano de Maceió.....	65
<b>Figura 9</b> - Variação mensal da temperatura média das máximas, média das mínimas e média, de acordo com as Normais Climatológicas .....	65
<b>Figura 10</b> - Valores mensais de umidade relativa do ar, de acordo com os dados das Normais Climatológicas de Maceió.....	66
<b>Figura 11</b> - Médias mensais dos totais de precipitação e insolação .....	66
<b>Figura 12</b> – Localização dos onze pontos amostrais na malha urbana de Maceió, sendo os pontos em vermelho correspondentes às áreas não analisadas devido a problemas no registro dos dados.....	68
<b>Figura 13</b> – Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) Guaxuma .....	69
<b>Figura 14</b> - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Jacarecica .....	70
<b>Figura 15</b> - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Ponta Grossa .....	71
<b>Figura 16</b> - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Santa Amélia.....	72
<b>Figura 17</b> - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) – Santa Amélia .....	73
<b>Figura 18</b> - Ponto de coleta de dados e panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Tabuleiro dos Martins .....	74
<b>Figura 19</b> - Ponto de coleta de dados e panorâmica do ponto analisado - Estação da UFAL (INMET).....	75
<b>Figura 20</b> - Ponto de coleta de dado e panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Benedito Bentes.....	76
<b>Figura 21</b> - Ponto de coleta de dados e panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Serraria .....	77
<b>Figura 22</b> - (a) foto da instalação do Hobo (b) datalogger de temperatura do ar e umidade relativa do ar, marca Hobo, modelo U23-001 e abrigo meteorológico da marca Hobo, modelo RS180	
<b>Figura 23</b> – Dados de temperatura do ar no período de 11 a 16 de abril de 2022 e médias das máximas e mínimas para o mês de abril, de acordo com as Normais Climatológicas 1981-2010.	80
<b>Figura 24</b> - Dados de velocidade do vento e de radiação solar global no período de 11 a 16 de abril de 2022.....	81
<b>Figura 25</b> - Imagem do software Rayman com cálculo de área gerada .....	82
<b>Figura 26</b> - Modelo de comprimento da rugosidade .....	83
<b>Figura 27</b> - Marcação de cada ponto com sua respectiva definição de LCZ .....	88

<b>Figura 28</b> - Comportamento da Temperatura Máxima e Mínima no período de 11 a 16 de abril de 2022 .....	89
<b>Figura 29</b> - Caixa de Boxplot de temperatura 11 À 16 de abril de 2022 .....	90
<b>Figura 30</b> - Diferenças térmicas entre as LCZs 5, 6 e 3 (Jacarecica, Guaxuma e Ponta Grossa, respectivamente) localizadas na planície litorânea de Maceió.....	92
<b>Figura 31</b> - Diferenças térmicas entre LCZs 3 e 9 .....	93
<b>Figura 32</b> - Diferença térmica entre LCZs do tipo 9 e 9B .....	94
<b>Figura 33</b> - Gráfico de umidade relativa do ar Máxima e Mínima no período de 11 à 16 de abril de 2022 .....	95
<b>Figura 34</b> - Gráfico de Boxplot de umidade relativa do ar. ....	95

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Quadro traduzido com classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem decrescente aproximada de sua capacidade de impactar o clima.....	24
<b>Quadro 2</b> - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologias de construção	25
<b>Quadro 3</b> - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologia de cobertura do solo	26
<b>Quadro 4</b> – Conceitos parâmetros de Porcentagem (Edificada, impermeável, permeável) e Altura da Rugosidade .....	29
<b>Quadro 5</b> - Distribuição dos principais resultados identificados nos estudos da revisão sistemática da literatura desenvolvida.....	43
<b>Quadro 6</b> - Síntese das dissertações e teses analisadas, em ordem cronológica .....	55
<b>Quadro 7</b> - Áreas amostrais selecionadas .....	77
<b>Quadro 8</b> - Obtenção de dados para classificação das LCZs .....	81
<b>Quadro 9</b> – Caracterização dos onze pontos amostrais classificados em LCZs. ....	85

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Parâmetros morfológicos para classificação de LCZs.....	27
<b>Tabela 2</b> - Normais Climatológicas de Maceió – período: 1981-2010 .....	67
<b>Tabela 3</b> - Classificação do comprimento de rugosidade.....	83
<b>Tabela 4</b> – Valores dos parâmetros morfológicos dos nove pontos amostrais para classificação das LCZs. ....	84
<b>Tabela 5</b> - Tabela de Temperatura Máxima, Mínima e Média e Amplitude de cada LCZ .....	91
<b>Tabela 6</b> - Tabela de Umidade Máxima, Mínima e Média e Amplitude de cada LCZ.....	96
<b>Tabela 7</b> - Valores dos Pontos Amostrais para determinação da classe da Rugosidade .....	114

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Objetivos.....	16
1.2. Estrutura da dissertação.....	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Clima Urbano.....	18
2.2 Ilha de calor e seus efeitos.....	19
2.3 Influência da Morfologia nos Microclimas.....	21
2.4 Classificação da Morfologia Urbana.....	21
2.5 LCZ e recomendações construtivas.....	23
2.5.1 Parâmetros de classificação das LCZs.....	27
2.5.2 Fator de Visão do Céu.....	27
2.5.3 Relação H/W.....	28
2.5.4. Porcentagem da área Edificada, Porcentagem de área impermeável, Porcentagem de área permeável e Altura da Rugosidade.....	29
2.5.5. Classe de Rugosidade.....	29
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	30
3.1 Estudos sobre o método de classificação de zonas climáticas locais em cidades tropicais...30	
3.2 Estudos sobre o método de classificação de zonas climáticas locais em cidades brasileiras.51	
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	64
4.1 Caracterização geográfica e climática da área de estudo.....	64
4.2. Identificação e seleção dos pontos amostrais.....	67
4.2.1. Caracterização dos pontos amostrais.....	69
4.3. Campanha de Monitoramento.....	79
4.4 Cálculo dos parâmetros morfológicos de classificação para cada LCZ.....	81
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
5.1 Classificação e caracterização das LCZs identificadas.....	84
5.2 Análises do comportamento da temperatura do ar.....	89
5.2.1 Análise de diferentes LCZs com a mesma localização geográfica.....	91
5.2.2. Análise de LCZs análogas com diferentes localizações geográficas.....	92
5.3 Análises do comportamento da umidade do ar.....	94
5.3.1. Análise das LCZs de acordo com a localização geográfica.....	96
5.3.2. Análise de LCZ análogas em topografias distintas.....	97
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
REFERÊNCIAS.....	100
APÊNDICE A.....	109
APÊNDICE B.....	114

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno global em constante expansão. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais de 80% da população brasileira vive em áreas urbanas. Esse processo tem ocasionado transformações profundas nas paisagens e no fluxo de energia dos sistemas naturais pré-existentes, dando origem a um novo sistema resultante da interação entre sociedade e natureza. Como consequência, temos o aumento das temperaturas nas áreas urbanizadas e a emergência de problemas relacionados ao conforto térmico e à saúde (TEOBALDO NETO, 2019).

Segundo Singh, Singh e Mall (2020), a população urbana aumentou de 750 milhões para 4,2 bilhões entre 1951 e 2018. Nesse contexto, o processo de urbanização tem sido acompanhado pelo aumento do consumo de energia e pelas emissões de gases de efeito estufa, em um cenário de mudanças climáticas globais.

Silva (2020) afirma que as alterações nas cidades afetam negativamente o microclima e o conforto térmico. Assim, é cada vez mais urgente que o planejamento urbano incorpore estratégias bioclimáticas de forma a mitigar os impactos adversos da ocupação urbana nas condições térmicas em escala microclimática.

As variáveis que estão associadas à climatologia urbana constituem-se em dimensões do ambiente construído e o estudo do clima na cidade tem oferecido importantes contribuições ao equacionamento do planejamento urbano (MENDONÇA, 2003). Um dos fenômenos mais evidenciados sobre a modificação do clima local por meio das atividades antrópicas é a Ilha de Calor Urbano (ICU). Oke (1982) definiu ICU como uma anomalia térmica que se manifesta a partir das diferenças térmica mais evidenciadas em condições de uma atmosfera regular, com acentuada incidência de radiação solar, céu claro e ventos fracos. Rizwan et al. (2008) reforçou que a ICU é a resposta mútua de muitos fatores amplamente categorizados como controláveis e incontroláveis, como a cobertura de nuvens e a velocidade do ar, além da formação de áreas verdes, materiais de construção e o fator de visão do céu, poluição do ar e fontes de calor antropogênicas.

Oke (1982) também destacou que o ambiente urbano é caracterizado pela maior absorção da radiação solar devido à reflexão e radiações múltiplas, maior retenção de radiação infravermelha em adensamentos urbanos, maior absorção e liberação retardada de calor por edifícios e superfícies pavimentadas, entre outros.

A disposição dos edifícios, a densidade de construções e a presença de áreas verdes influenciam diretamente na temperatura e na circulação do ar no dossel urbano. Segundo Sailor

e Lu (2004), a densidade de construções e a altura dos edifícios são os principais fatores que influenciam na formação de ilhas de calor urbanas, ao passo que Ali-Toudert e Mayer (2007) evidencia que a disposição das ruas e a presença de áreas verdes podem ajudar na redução da temperatura do ar nos ambientes urbanos. Além disso, a presença de água e áreas verdes também podem influenciar na umidade do ar e na qualidade do ar (PUGH et al., 2012). Assim, a morfologia urbana deve ser considerada nas estratégias de planejamento com vistas à redução dos impactos ambientais adversos nas cidades. Para tanto, torna-se imprescindível conhecer e classificar as diferentes morfologias existentes nas cidades e suas conseqüentes respostas às condições climáticas locais.

Nesse sentido, o método de classificação da morfologia urbana em LCZ, proposto por Stewart e Oke (2012), vem sendo aplicado em diversos estudos de clima urbano, como os de Pacifici (2019), em São Paulo, Dorigon (2019), em Jundiaí, e Simões (2017), em Feira de Santana. Entretanto, ainda não há estudos de microclimas urbanos diretamente relacionados à abordagem em LCZs na cidade de Maceió e cidades na região Nordeste, lacuna que esta pesquisa propõe preencher, ainda que de forma incipiente. A temática torna-se ainda mais relevante pelo fato de o Plano Diretor Municipal estar em vias de revisão. Entretanto, este trabalho não aprofundará a relação direta com a minuta do referido Plano.

### **1.1.Objetivos**

O objetivo geral foi analisar a influência da morfologia urbana no comportamento higrotérmico de diferentes Zonas Climáticas Locais, em escala de abordagem microclimática, em cidade de clima tropical quente úmido, a partir de estudos de casos em Maceió – AL.

Para atingir o objetivo geral proposto, foi necessário estabelecer os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar formas de ocupação urbana existentes em Maceió a partir do método de classificação em Zonas Climáticas Locais;
- Analisar diferenças de temperatura do ar e umidade relativa do ar tomadas em diferentes Zonas Climáticas Locais em Maceió;
- Analisar diferenças de temperatura do ar e umidade relativa do ar tomadas em Zonas Climáticas Locais análogas em diferentes regiões da cidade.

## **1.2. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação foi dividida em 6 capítulos. O primeiro capítulo consiste na Introdução, no qual são expostas as premissas da pesquisa e os objetivos. O capítulo 2 é composto pelo referencial teórico-conceitual que forneceu base para o presente trabalho. O capítulo 3 compreende uma breve revisão de literatura acerca da aplicação do método de Zonas Climáticas Locais em trabalhos acadêmicos publicados no Brasil e em artigos científicos publicados em periódicos internacionais. O capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos realizados para a classificação das Zonas Climáticas Locais a partir da classificação proposta por Stewart e Oke (2012), os parâmetros avaliados e forma de tratamento dos dados. O capítulo 5 consiste na apresentação e discussão dos resultados obtidos na campanha de monitoramento *in loco*. Por fim, o capítulo 6 discorre sobre as considerações finais da pesquisa, nas quais são apresentadas a síntese dos principais resultados obtidos, conclusões e limitações do trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos e bases teóricas para compreensão do clima local e sua relação com a morfologia urbana. Inicialmente, será abordada a conceituação geral e temas relevantes para compreender melhor o clima urbano. Em seguida, será discutido o fenômeno das ilhas de calor urbanas e seus efeitos. O terceiro tópico tratará da influência da morfologia urbana nos microclimas locais. O quarto tópico abordará a classificação da morfologia urbana. Por fim, o quinto e último tópico apresentará as Zonas Climáticas Locais e fornecerá recomendações construtivas.

### **2.1 Clima Urbano**

O clima urbano é um conceito que se refere às características climáticas específicas de áreas urbanas em comparação com as áreas rurais próximas. De acordo com Oke (1982), um dos principais aspectos do clima urbano é o efeito de ilha de calor urbana, que ocorre devido à absorção e reemissão da radiação solar pelos edifícios e superfícies pavimentadas, assim como pela geração de calor através de atividades humanas. O clima urbano pode afetar a qualidade do ar, o ciclo hidrológico local e a saúde humana, devido à grande concentração de poluentes em áreas urbanas (ARNFIELD, 2003). Assim, conhecer as modificações climáticas produzidas pela cidade é essencial para o gerenciamento dos riscos ambientais e para a obtenção de estratégias que visem aumentar a qualidade de vida nos ambientes urbanos.

Pesquisas que citam o clima urbano estão em andamento desde o século XIX, quando Luke Howard realizou o primeiro estudo sobre o tema em Londres. Howard observou um excesso de calor na cidade em relação às áreas rurais vizinhas, ao que atribuiu à maior absorção de radiação solar pelas superfícies e à falta de umidade para evaporação. A partir da pesquisa de Howard, outros estudos climatológicos se concentraram nas mudanças climáticas provenientes do processo de expansão urbana, resultando em uma gama de pesquisas interdisciplinares em áreas como meteorologia, arquitetura, física e química (GARTLAND, 2010).

De acordo com Assis (2005), estudos climáticos urbanos mostraram que, tanto as áreas tropicais quanto as temperadas, enfrentam mudanças no clima devido à sua morfologia, que inclui a transformação de energia, propriedades térmicas de materiais superficiais e produção de calor antropogênico. Em regiões tropicais como o Brasil, estudos sobre climatologia urbana são essenciais para a compreensão dos problemas ambientais decorrentes da urbanização. Nesse contexto, pesquisas realizadas em cidades brasileiras têm buscado quantificar a importância de

recursos naturais como a vegetação, além de adequações climáticas, confirmando a importância da aplicação do conhecimento do clima na orientação do planejamento ambiental urbano (GOMES, 2007).

Givoni (1998) destacou que os fatores fundamentais que levam a modificações nas condições climáticas iniciais devido à urbanização são a localização, o tamanho, a densidade, a cobertura e altura dos edifícios, assim como a orientação e largura das ruas, a divisão do lote e também o impacto dos parques e áreas verdes. O autor observou que esses fatores são essenciais para moldar o microclima das áreas urbanas.

A configuração urbana e os materiais utilizados na construção dos edifícios têm uma grande influência na captação, absorção e transmissão do calor. Dessa forma, é importante planejar e avaliar os componentes construtivos a fim de minimizar o desconforto térmico (DUARTE, 2015). Com o aumento das preocupações ambientais e a produção crescente de estudos sobre o clima urbano, destaca-se a formação de ilhas de calor. Esses estudos são essenciais para entender os impactos das alterações climáticas nas cidades e para auxiliar no planejamento urbano sustentável (GONÇALVES, 2003).

## **2.2 Ilha de calor e seus efeitos**

De acordo com Oke (1982) e Santamouris (2014), as Ilhas de Calor Urbano (ICUs) ocorrem quando a temperatura das áreas urbanas é mais elevada do que as áreas rurais limítrofes. Esse aumento de temperatura é causado, especialmente, pela substituição da vegetação e do solo natural por superfícies artificiais, como asfalto e concreto (AKBARI POMERANTZ E TAHA, 2001). De acordo com Akbari, Pomerantz e Taha (2001) e Santamouris (2014) superfícies artificiais possuem uma alta capacidade de absorção da radiação solar e retenção de calor.

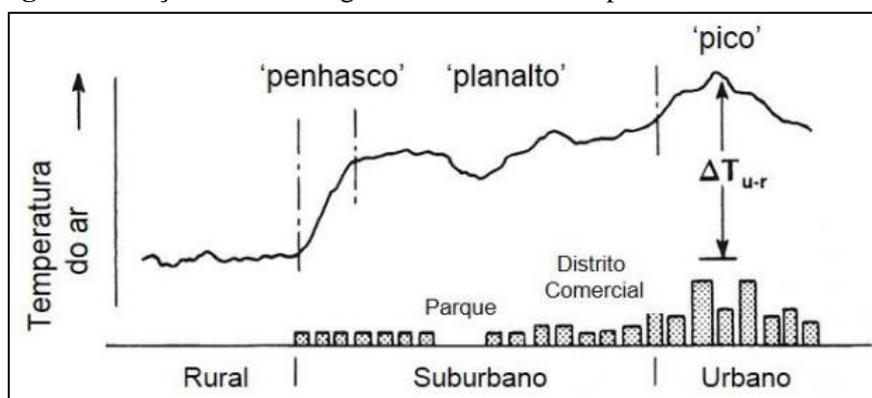
Fialho (2009) destaca que, embora a ilha de calor seja comumente utilizada como um termo que define o clima urbano, esse fenômeno representa apenas um dos aspectos desse clima e não reflete a sua realidade de forma completa. É influenciada por fatores físicos e artificiais, como a velocidade dos ventos regionais e a escolha de materiais construtivos que absorvem radiação durante o dia e liberam calor à noite (SOUZA, FILHO E GUARALDO, 2019), além de impulsionarem a redução da qualidade do ar e o aumento no consumo de energia devido ao uso constante de ar-condicionado (WERNECK, 2019).

De acordo com Lucena (2013), as ICUs são compostas por três aspectos principais: forma, intensidade e localização do seu núcleo mais quente. A forma é influenciada pelo uso

inadequado do solo e pela urbanização excessiva em áreas sem vegetação, o que contribui para o aumento da temperatura do ar. A intensidade das ICUs é maior nas áreas urbanizadas sem corredores de vento, com maior uso de materiais que retêm calor, resultando em temperaturas ainda mais altas. Por fim, o núcleo mais quente das ICUs está localizado nos miolos urbanos, como em áreas comerciais e residenciais dos grandes centros urbanos, onde a urbanização é mais densa e o uso de materiais absorvedores de calor é mais comum.

Segundo Oke (1987), o fenômeno das ilhas de calor urbano pode ser comparado a uma ilha, na qual a temperatura relativa da cidade se projeta nitidamente no seu entorno, gerando um gradiente horizontal que pode ser bastante elevado, chegando a 4 °C/km na chamada área do "penhasco". A maior parte da área urbana é designada como um "planalto" de ar quente com gradiente horizontal constante, interrompido pela influência de áreas mais frias, como parques e lagos, e áreas mais quentes, como regiões comerciais, industriais ou densamente edificadas. Em algumas cidades, o núcleo urbano pode apresentar o "pico" da ilha de calor, onde a temperatura máxima urbana é encontrada, o que define a intensidade da ilha de calor urbana (Figura 1).

**Figura 1** - Seção transversal generalizada de uma típica ilha de calor urbana



Fonte: Adaptado de Oke, 1976, apud Oke (1987)

Segundo Stewart e Oke (2012), uma das causas das ICU é a retenção de radiação infravermelha em cânions urbanos, que ocorre devido à limitação da visão da abóboda celeste pela presença de edifícios mais altos e compactos. Além disso, a absorção e liberação retardada de calor pelas superfícies pavimentadas e edifícios também contribuem para a formação das ilhas de calor. A maior liberação de calor sensível e latente pela queima de combustíveis para transporte, processamento industrial e aquecimento e resfriamento de espaços também é um fator importante. Esses fatores combinados têm um impacto significativo no clima, na qualidade do ar e na saúde pública, tornando as ilhas de calor urbano um problema ambiental e social cada vez mais relevante.

### **2.3 Influência da Morfologia nos Microclimas**

A morfologia urbana é a expressão visível do reflexo das necessidades e desejos dos habitantes, bem como o contexto geográfico e histórico da cidade. É interessante notar que a morfologia urbana é influenciada pela cultura da cidade, como ressaltado por Jacobs (1961) que destaca como a história, a política, a economia e a sociedade de uma cidade afetam sua forma.

A análise da morfologia urbana é uma abordagem que pode ser realizada em diversas escalas. Dessa forma, Lynch (1960) propôs a definição de cinco elementos principais que compõem a "imagem da cidade": caminhos, bordas, marcos, lugares e distritos. Monteiro (2020) e Gehl (2013) reforçam que a morfologia urbana possui muitos fatores que, quando combinados, influenciam a forma e estrutura das cidades, que por sua vez moldam a experiência de vida dos habitantes urbanos.

Romero (2001) aponta que os fatores climáticos são divididos em fatores globais e locais, que respectivamente dão origem a macroclimas e microclimas. Os fatores globais influenciam os macroclimas e incluem radiação solar, latitude, altitude, ventos, corpos de água e massas de terra, enquanto os fatores locais que influenciam os microclimas incluem topografia, vegetação e superfície do solo.

Oke (1982) e Gehl e Svarre (2013), reforçam que a morfologia urbana tem um papel importante na criação de microclimas nas cidades, os quais afetam diretamente o conforto térmico dos habitantes e a eficiência energética dos edifícios. De acordo com os autores, a forma e orientação dos edifícios podem influenciar a circulação de ar e a incidência de radiação solar nas ruas, resultando na criação de microclimas distintos em diferentes áreas da cidade.

De acordo com Roriz (2003) e Pereira, Batista e Kruger (2019), os microclimas advindos pela ação humana podem ser altamente desconfortáveis, de forma que para se reestabelecer o conforto são necessários a geração de preciosos recursos energéticos. Oliveira (1988) reforça que a forma urbana é um produto criado pelo homem e que a partir dos instrumentos de controle climático seria possível encontrar condições de salubridade e conforto nos espaços.

### **2.4 Classificação da Morfologia Urbana**

Segundo Besussi et. al (2010), a morfologia urbana refere-se à forma física da cidade e à configuração espacial de suas partes constituintes. A classificação da morfologia urbana, por sua vez, envolve a identificação de padrões na forma física da cidade e a categorização desses padrões de acordo com critérios específicos, como explicado por Oliveira (2016).

De acordo com Lynch (1960), uma das classificações mais comuns da morfologia urbana se baseia na forma das ruas e dos quarteirões. Essa classificação divide a morfologia urbana em quatro tipos básicos: malha ortogonal, malha irregular, radiocêntrica e em forma de espinha de peixe. Na malha ortogonal, as ruas são perpendiculares e formam quarteirões retangulares. Na malha irregular, as ruas não seguem uma geometria regular. Na morfologia radiocêntrica, as ruas irradiam de um ponto central. E, por fim, na morfologia em forma de espinha de peixe, uma rua principal se ramifica em ruas secundárias.

De acordo com Hillier e Hanson (1984), a morfologia urbana pode ser analisada em diferentes níveis de complexidade e escala, desde o nível do edifício até o nível da cidade como um todo. Em cada um desses níveis, é possível identificar elementos que influenciam a aparência, a eficiência e a acessibilidade do espaço urbano.

No nível do edifício, a morfologia pode ser analisada em termos de forma, tamanho, proporção e orientação. Já no nível do quarteirão, a análise se concentra em elementos como tamanho, forma, orientação e uso do solo, que afetam a conectividade e a permeabilidade do espaço urbano, bem como a acessibilidade e a diversidade do uso do solo.

A morfologia urbana também pode ser analisada em níveis mais amplos, como no nível da rua, do bairro e da cidade como um todo. A análise da morfologia urbana no nível da rua considera elementos como largura, proporção, continuidade e hierarquia, que influenciam a legibilidade e a orientação no espaço urbano, bem como a qualidade da experiência dos pedestres e a segurança do tráfego de veículos. Já no nível do bairro, a análise da morfologia se concentra em elementos como densidade, mix de uso, acesso a transporte público e presença de espaços públicos, que afetam a vitalidade e a resiliência do bairro, bem como a qualidade de vida dos seus habitantes.

No nível da cidade como um todo, a morfologia urbana pode ser analisada em termos de forma, tamanho, densidade e conectividade. A configuração da cidade influencia a acessibilidade, a mobilidade e a diversidade do uso do solo, bem como a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas urbanos. Além disso, a morfologia urbana também pode ser analisada em termos de sua história, cultura e identidade, que influenciam a percepção e a apropriação do espaço urbano pelos seus habitantes (HILLIER E HANSON, 1984).

Por fim, destaca-se que diferentes critérios podem ser utilizados para essa classificação. A morfologia urbana pode aprimorar o planejamento urbano e construir cidades mais eficientes, sustentáveis e agradáveis para seus habitantes.

## 2.5 LCZ e recomendações construtivas

Em 2006, a Organização Meteorológica Mundial (WMO<sup>1</sup>) publicou o Guia de orientações iniciais para observações meteorológicas representativas em locais urbanos, elaborado por Oke (2006), a respeito dos instrumentos e métodos de observação como resultado de 30 anos de pesquisa, com a colaboração de Grimmond (2006). As etapas de trabalho do Guia iniciam com a seleção do local para a implantação das estações de medições, segue abordando as escalas horizontais e verticais de medições de temperaturas, além da descrição dos equipamentos de medições e das formas de medições dos diferentes elementos, como: a radiação solar, a temperatura, a umidade, o vento e as precipitações. A maior contribuição do Guia foi o estabelecimento das Zonas Climáticas Urbanas (UCZ) (Quadro 1), a qual posteriormente deu origem à classificação das Zonas Climáticas Locais – LCZ.

Stewart (2011), em sua tese de doutorado, iniciou o desenvolvimento do método de classificação de zonas climáticas locais sob a orientação do professor Timothy Oke. Assim, em 2012, Stewart & Oke apresentaram a melhor forma desse sistema de classificação denominado Zona Climática Local (LCZ). Este sistema de classificação se baseia na tipologia das construções e da cobertura do solo e tornou-se uma ferramenta relevante para a caracterização e planejamento de recomendações adequadas aos contextos climáticos em questão, devido à complexidade dos ambientes urbanos e a indeterminação dos termos “rural” e “urbano”, dando maior representatividade nas propriedades do local em estudo.

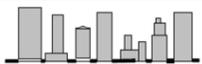
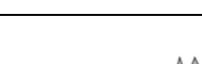
De acordo com Stewart e Oke (2012), as classes LCZ são definidas como regiões que apresentam cobertura uniforme do solo, estrutura, materiais e atividades humanas que se estendem por centenas de metros ou quilômetros e apresentam regime semelhante da temperatura do ar. Essa classificação visa extrair a magnitude da ilha de calor urbana por meio das diferenças entre as respostas climáticas dessas classes, e não simplesmente pela diferença entre as áreas urbanas e rurais.

Cada classe LCZ é caracterizada por diversas propriedades geométricas, como fator de visão do céu, altura média dos elementos construídos, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, área permeável e impermeável, bem como propriedades térmicas, radiativas e metabólicas, como inércia, albedo e calor antropogênico produzido. No entanto, é importante destacar que as classes LCZ não conseguem descrever todas as situações urbanas e rurais existentes, e, portanto, pode ser necessário realizar combinações entre as classes originalmente propostas para melhor descrever a heterogeneidade dos tecidos urbanos (STEWART; OKE, 2012).

---

<sup>1</sup> Sigla para *World Meteorological Organization*.

**Quadro 1** – Quadro traduzido com classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem decrescente aproximada de sua capacidade de impactar o clima

	Zona Climática Urbana (UCZ)	Imagem	Classe de Rugosidade <sup>2</sup>	Proporção das formas (h/w)	% Construída (Impermeável)
1	Desenvolvimento urbano intenso, conjunto de arranha-céus revestidos coo por exemplo as torres do centro da cidade.		8	>2	>90
2	Desenvolvimento urbano intenso, de alta densidade, edifícios de 2 à 5 pavimentos, muito próximo e de tijolo ou pedra, situados por exemplo, no centro da cidade antiga.		7	1,0-2,5	>85
3	Desenvolvimento urbano alto de média densidade, com casa alinhadas separadas e próximas, lojas e apartamentos, como por exemplo, áreas habitacionais urbanas.		7	0,5-1,5	70-85
4	Desenvolvimento urano alto de baixa ou média densidade, com edifícios baixos e amplos estacionamentos pavimentados, como por exemplo, shopping center e armazéns.		5	0,05-0,2	70-95
5	Desenvolvimento suburbano médio, de baixa densidade, com casas de 2 ou 2 andares, como por exemplo, áreas de habitações suburbanas.		6	0,2-0,6, até >1,0 com árvores	35-65
6	Uso misto com edifícios amplos em paisagem aberta, como por exemplo, hospitais, universidades e aeroportos		5	0,1-0,5, depende das árvores	<40
7	Desenvolvimento semirrural, casas dispersas em áreas naturais ou agrícolas, como por exemplo, fazendas e propriedades.		4	>0,05, depende das árvores	<10
<p>Legenda das imagens</p> 					

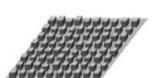
Fonte: Adaptado de Oke (2006).

<sup>2</sup> A classe de rugosidade é uma medida utilizada em estudos de clima urbano para categorizar as áreas de uma paisagem urbana com base em suas características de rugosidade superficial, como a altura e a configuração dos elementos presentes.

Segundo os autores, no método LCZ, a forma é expressa pela classificação tipológica, revelando, de início, a distinção entre dois grupos de tipologias: construídas e de cobertura do solo. As tipologias construídas englobam as áreas urbanizadas, objeto da ação humana, as áreas não ocupadas, classificadas por cobertura do solo, mesclam espaços naturais, como florestas e corpos d'água, com espaços antropizados, a exemplo das áreas que remetem à exploração econômica do solo por meio dos cultivos agrícolas. Essa classificação estabelece uma primeira distinção de usos do solo e uma primeira aproximação das dinâmicas espaciais em diferentes escalas: regional, municipal ou intraurbana.

O sistema pode responder a um requisito básico em estudos de clima urbano por meio de um relatório padronizado de superfícies, estruturas e coberturas, com o sentido de entender as causas e controles da ilha de calor. Assim, a classificação visa aprimorar a descrição das condições de superfície em áreas rurais e urbanas, conforme Quadros 2 e 3.

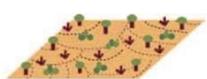
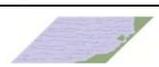
**Quadro 2** - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologias de construção

Tipologia da construção	Descrição
<b>1. Arranha-céus compactos</b>	
	Densa mistura de edifícios altos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo é principalmente pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.
<b>2. Edifícios médios compactos</b>	
	Mistura densa de edifícios médios (3-9 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo é principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedras, tijolos, ladrilhos e concreto.
<b>3. Edifícios baixos compactos</b>	
	Mistura de prédios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedras, tijolos, ladrilhos e concreto.
<b>4. Edifícios altos com espaço aberto</b>	
	Arranjo aberto de edifícios altos. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.
<b>5. Edifícios médios com espaços abertos</b>	
	Arranjo aberto de edifícios médios (3-9 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.
(continua)	
<b>6. Edifícios baixos com espaços abertos</b>	
	Arranjo aberto de edifícios baixos (1-3 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de madeira, tijolos, pedras, telhas e concreto.
<b>7. Adensamento de edifícios baixos leves</b>	
	Densa mistura de edifícios baixos. Poucas ou nenhuma árvore. A cobertura de solo expostos. Materiais de construção leves (por exemplo, madeira, palha, metal ondulado).

<b>8. Grandes edifícios baixos, galpões</b>	
	Arranjo aberto de grandes edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de aço, concreto, metal e pedra.
<b>9. Escassamento construído</b>	
	Arranjo com pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).
<b>10. Indústria pesada</b>	
	Estruturas industriais de baixa gabarito e de médio alcance (torres, tanques, pilhas). Poucas ou nenhuma árvore. A cobertura de solo é principalmente pavimentada. Materiais de construção de metais, aço e concreto.

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012).

**Quadro 3** - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologia de cobertura do solo

Tipologias de Cobertura de Solo	Descrição
<b>A. Árvores adensadas</b>	
	Paisagem densamente arborizada de árvores decíduas e/ou de folhas perenes. A cobertura do solo é principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
<b>B. Árvores dispersas</b>	
	Paisagem levemente arborizada de árvores de folha caduca e/ou de folhas perenes. A cobertura do solo é principalmente permeável (plantas baixas). A função da zona é floresta natural, cultivo de árvores ou parque urbano.
<b>C. Arbustos</b>	
	Arranjo aberto de arbustos e árvores curtas e lenhosas. A cobertura do solo é principalmente permeável (solo exposto ou areia). A função da zona é arvoredos natural ou agricultura.
<b>D. Plantas baixas</b>	
	Paisagem com características de grama ou plantas/colheitas herbáceas. Poucas ou nenhuma árvore. Função de zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
<b>E. Pavimentação/ Pedra exposta</b>	
	Paisagem com característica de rocha ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é o deserto natural (rocha) ou o transporte urbano.
<b>F. Solo exposto/ Areia</b>	
	Paisagem com característica de solo ou cobertura de areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.
<b>G. Água</b>	
	Corpos de água grandes e abertos, como mares e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)

A classificação de Zonas Climáticas Locais, proposta por Stewart e Oke (2012), tem sido um tema relevante na literatura científica devido à sua importância na compreensão das dinâmicas climáticas e ambientais nas cidades. A aplicação do método LCZ tem se mostrado promissora tanto em larga escala, aplicado a áreas metropolitanas e grandes cidades, quanto a cidades médias e pequenas, ainda que adequações locais sejam necessárias, conforme destacado

por Cai et al. (2017) e Perera e Emmanuel (2016). Em suma, a classificação de Zonas Climáticas Locais é uma importante ferramenta para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas nas áreas urbanas e pode auxiliar na elaboração de políticas públicas mais efetivas para a mitigação e adaptação aos efeitos dessas mudanças.

### 2.5.1 Parâmetros de classificação das LCZs

A partir da metodologia de Stewart e Oke (2012) são apresentados parâmetros morfológicos de classificação para cada LCZ, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** – Parâmetros morfológicos para classificação de LCZs

LCZ	FVC	H/W	%Edif.	%Imp.	%Perm.	Alt. Rug.	Cls. Rug.
1	0,2-0,4	>2	40-60	40-60	<10	>25	8
2	0,3-0,6	0,75-2	40-70	30-50	<20	10-25	6-7
3	0,2-0,6	0,75-1,5	40-70	20-50	<30	3-10	6
4	0,5-0,7	0,75-1,25	20-40	30-40	30-40	>25	7-8
5	0,5-0,8	0,3-0,75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6
6	0,6-0,9	0,3-0,75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6
7	0,2-0,5	1-2	60-90	<20	<30	2-4	4-5
8	>0,7	0,1-0,3	30-50	40-50	<20	3-10	5
9	>0,8	0,1-0,25	10-20	<20	60-80	3-10	5-6
10	0,6-0,9	0,2-0,5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6
A	<0,4	>1	<10	<10	>90	3-30	8
B	0,5-0,8	0,25-0,75	<10	<10	>90	3-15	5-6
C	0,7-0,9	0,25-1	<10	<10	>90	<2	4-5
D	>0,9	<0,1	<10	<10	>90	<1	3-4
E	>0,9	<0,1	<10	>90	<10	<0,25	1-2
F	>0,9	<0,1	<10	<10	>90	<0,25	1-2
G	>0,9	<0,1	<10	<10	>90	-	1

LCZ: Zonas Climáticas Locais  
 FVC: Fator de Visão do Céu  
 H/W: Relação H/W  
 %Edif.: Fração de Porcentagem Edificada  
 %Imp.: Fração de Porcentagem Impermeável  
 %Perm.: Fração de Porcentagem Permeável  
 Alt. Rug.: Altura da Rugosidade  
 Cls. Rug.: Classe de Rugosidade do Terreno

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)

No tópico a seguir são apresentados os conceitos referentes a cada um dos parâmetros apresentados acima e sua forma de obtenção será apresentado no capítulo 4.

### 2.5.2 Fator de Visão do Céu

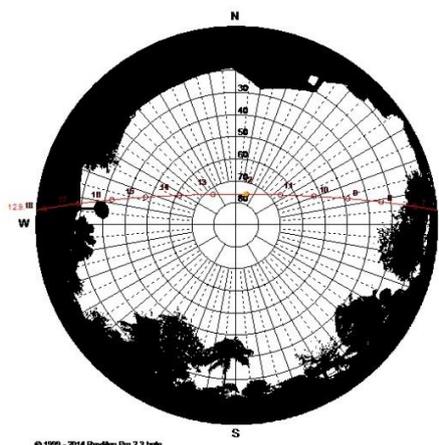
De acordo Stewart (2011), o Fator de Visão do Céu (FVC) é a razão entre a quantidade de hemisfério do céu visível do nível do solo e a de um hemisfério desobstruído. O FVC retrata uma estimativa da área visível de abóboda celeste e indica a relação geométrica entre a terra e

o céu (SOUZA et al., 2010).

Para Chapman (2004), o FVC é um parâmetro adimensional, representado com valor entre 0 e 1, sendo o valor 1 correspondente a uma área sem qualquer obstrução. Os métodos para cálculo do FVC (Figura 2) podem ser divididos em duas abordagens distintas: geométrica ou fotográfica.

Nos estudos de Johnson (1985) e Svensson (2004) realizados sobre o efeito do FVC na condição térmica de cânions urbanos indicaram que baixo FVC resulta em menores temperaturas do ar durante o dia e elevadas temperaturas do ar durante à noite. De acordo com Jamei et. al. (2016), essas observações são atribuídas à menor entrada da radiação solar penetrando nos cânions urbanos com baixo FVC durante o dia, afetando assim a temperatura média radiante que determinam o nível de conforto em áreas externas.

**Figura 2** - Fotografia convertida pelo software Rayman para cálculo do parâmetro de FVC



Fonte: *Software RayMan 1.2 Pro* (2022)

### 2.5.3 Relação H/W

De acordo com Stewart (2011), a relação H/W é a razão entre a altura e largura média dos edifícios. A relação H/W foi utilizada no estudo de Oke (1981), o qual desenvolveu um modelo numérico de base empírica (Eq. 1). O autor apresentou resultados mostrando que a geometria do cânion na porção central da cidade é uma variável relevante na produção de ilhas de calor urbanas noturnas devido ao seu papel na regulação da perda de calor por radiação de onda longa.

$$\Delta T_{u-r(max)} = 7,45 + 3,97 \ln (H/W) \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$\Delta T_{u-r(max)}$  é a intensidade máxima da ilha de calor (°C);

H é altura das edificações do cânion urbano;

W é a largura da rua do cânion urbano.

No estudo realizado por Nakata-Osaki et al. (2016b) foi verificado que, em algumas cidades brasileiras, além da relação H/W, as intensidades de ICU noturna sofrem intervenção da variação das áreas de fachada e da ocupação das edificações que compõem o cânion urbano. Dessa forma, maior rugosidade representa atenuação de valores na intensidade de ICU para uma mesma relação H/W.

#### 2.5.4. Porcentagem da área Edificada, Porcentagem de área impermeável, Porcentagem de área permeável e Altura da Rugosidade

O Quadro 4 apresenta os conceitos dos parâmetros de Porcentagem da área edificada, área impermeável, área permeável e altura da rugosidade de acordo com os conceitos de Stewart (2011).

**Quadro 4** – Conceitos parâmetros de Porcentagem (Edificada, impermeável, permeável) e Altura da Rugosidade

<b>Parâmetro</b>	<b>Conceito</b>
Porcentagem da Área Edificada	É a proporção (%) da superfície do solo com a cobertura de edifícios.
Porcentagem de Área Impermeável	É a proporção (%) da superfície do solo com cobertura impermeável (rocha, pavimentação e outros).
Porcentagem de Área Permeável	Esse parâmetro é a proporção (%) da superfície do solo com cobertura permeável (solo descoberto, vegetação, água e outros).
Altura da Rugosidade	Este parâmetro é calculado pela média geométrica de alturas dos elementos de rugosidade (metros), considerando altura dos edifícios, árvores e plantas.

Fonte: Stewart (2011)

#### 2.5.5. Classe de Rugosidade

Este parâmetro é abordado na literatura sendo definido como uma medida utilizada em estudos de clima urbano para categorizar áreas de uma paisagem urbana com base em suas características de rugosidade superficial, como por exemplo, a altura e a configuração dos elementos presentes. A classe da rugosidade é relevante para compreender os padrões de vento, a dispersão de poluentes, a radiação solar, a distribuição de temperatura, além da umidade nas áreas urbanas. (EMMANUEL, 2016).

O capítulo seguinte apresentará uma revisão de literatura sobre a temática de Zonas Climáticas Locais, que subsidiou a presente pesquisa.

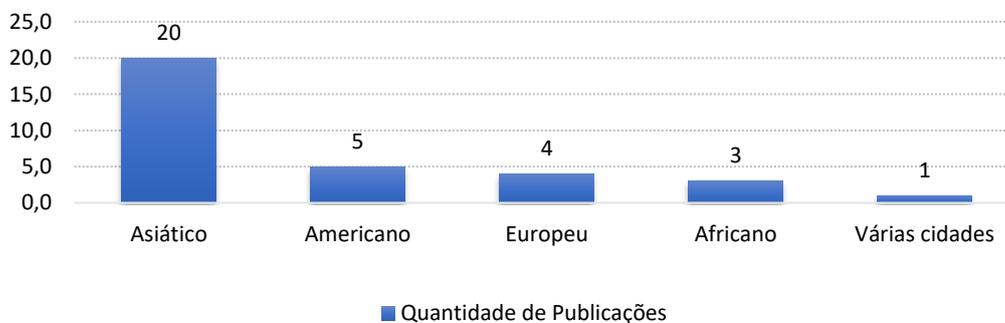
### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo apresenta a revisão de literatura sobre a aplicação do método de Zonas Climáticas Locais abrangendo trabalhos em cidades tropicais. O capítulo está estruturado em dois tópicos: o primeiro aborda trabalhos publicados em periódicos internacionais, abrangendo 33 pesquisas no contexto de cidades tropicais, dentre os quais foram identificados trabalhos em 4 continentes, com exceção de um trabalho que tratou de um estudo voltado para 86 cidades; o segundo aborda 14 trabalhos acadêmicos com estudos em cidades brasileiras, sendo quatro teses de doutorado e dez dissertações de mestrado.

#### 3.1 Estudos sobre o método de classificação de zonas climáticas locais em cidades tropicais

O método de classificação em LCZ tem sido aplicado em pesquisas sobre o clima urbano de diversas cidades nos mais diferentes continentes e contextos climáticos. A partir de levantamento bibliográfico nas bases *Scopus* e *Web of Science*, foram encontrados 33 artigos com estudos de clima urbano em cidades tropicais usando a aplicação do método, publicados entre os anos de 2014 e 2023, com pesquisas nos continentes: Asiático, Americano, Europeu e Africano (Figura 3).

**Figura 3** - Quantidade de publicações por Continente



Fonte: Elaboração própria (2022)

A maior parte da produção acadêmica está localizado em cidades do continente asiático, iniciando por Morris et al. (2015) a qual visaram investigar a variação temporal e espacial de ilhas de calor urbano, temperatura do ar na camada do dossel (2 m) e a influência dos materiais de superfície e classificação da cidade de Putrajaya, Malásia, em diferentes LCZs. Por meio de coletas de metadados e da delimitação da área de origem de acordo com Stewart, Oke e Krayenhoff (2014) as áreas de origem para classificação foram definidas em um raio de 100 m de locais de coleta de dados em ambientes urbanos densos (centro da cidade) e 200 m de raio para áreas de busca mais abertas (periferia da cidade). A classificação de LCZs foi adotada a partir da definição de 0,1-10 km (Oke, 1988a, 1988b; Stewart, Oke e Krayenhoff, 2014). Foram

encontrados 24 tipos de LCZs. Uma comparação preliminar entre as diferentes LCZs mostrou forte influência do tipo de cobertura do solo. A intensidade das ilhas de calor urbano variou, durante à noite, entre 1,9 °C e 3,1 °C. As áreas com vegetação apresentaram as temperaturas mais amenas em Putrajaya.

Perera e Emmanuel (2016) classificaram a cidade do Colombo, no Sri Lanka, em LCZs e exploraram as implicações dessa abordagem para o planejamento urbano sensível ao clima. Os autores obtiveram como principal fonte de informação um mapa detalhado em AutoCAD da cidade que incluíram informações sobre bairros urbanos, edifícios, estradas, corpos d'água e contornos de terrenos, além de terem utilizado a metodologia WUDAPT. Além disso Perera e Emmanuel (2016) criaram um método de análise contextual usando LCZs para extrair informações para o planejamento sensível ao clima quente e úmido em Colombo e outras cidades em desenvolvimento com poucos dados. Devido ao desenvolvimento do plano de zoneamento de Colombo ter sofrido revisões permitindo uma redefinição do zoneamento de uso do solo, os autores encontraram como resultado que a maior diferença de temperatura foi de 4,09 °C observada na LCZ 7 quando transformada em LCZ 1 e a justificativa se deve ao fato de comunidades carentes estarem sendo transformadas em edifícios altos. Outro resultado foi a mudança de LCZ 8 para LCZs 1 e 4 criando um aumento na temperatura de 3,3 °C e 3,25 °C, respectivamente, além da mudança da LCZ 6 para LCZ 8 que obteve uma redução de 0,77 °C por conta de áreas residenciais estarem sendo transformadas em instituições educacionais.

O estudo realizado por Cai et al. (2017) determinaram a relação entre as classes de Temperatura de Superfície Terrestre (LST) e Zonas Climáticas Locais (LCZ) com a mega região do Delta do Rio Yangtze (YRD), na China. Para a classificação das LCZs foi utilizada a metodologia WUDAPT para 16 municípios. A LCZ 1 (edifício compacto alto) teve o LST mais alto entre as classes de LCZ construídas com valores médios de 27,3 °C e 20,8 °C para Xangai e Hangzhou, respectivamente. A LCZ 9 (escassamente construída) mostrou uma tendência oposta nas duas cidades com 0,2 °C acima da média em Xangai, mas 1,8 °C abaixo da média em Hangzhou. Já a LCZ A (árvores densas) demonstrou menor LST, em ambas as cidades, com valores médios respectivamente de 26,1 °C e 15,4 °C, observados em Xangai e Hangzhou. Na LCZ E (rocha nua ou pavimentada) foram obtidos valores acima da média e a LCZ G teve o LST mais alto devido à maior capacidade de calor.

Kotharkar e Bagade (2018a e 2018b) estudaram ilhas de calor em Nagpur, na Índia, sendo utilizados mapas LULC (Dados extensivos sobre o uso da terra) obtidos de Bhuvan<sup>3</sup> e também imagens de satélite do Google Earth Pro. Além de imagens processadas de Landsat, conjuntos de dados secundários foram inseridos para identificar as LCZs. Dessa forma, foi incluído um mapa cadastral além de detalhes da altura do piso, tipo de materiais de telhado e paredes e um mapa de favelas da cidade. Os autores também utilizaram imagens de satélite posicionadas sobre as grades no ArcGIS e os parâmetros de fração de superfície edificada, altura de rugosidade, proporção de aspecto e os de cobertura vegetal foram extraídos usando o processamento GIS. As classes LCZ foram definidas segundo Stewart e Oke (2012), os autores para refinar as LCZs utilizaram os softwares ArcGIS, o Google Earth Pro e o AutoCAD e ao finalizar o mapeamento foram feitos levantamentos fotográficos nos locais para a coleta de dados e validação do mapa. Os resultados mostraram que a intensidade de ilhas de calor dentro das LCZs tipo construída variaram de 1,76 °C à 4,09 °C no inverno. Já as LCZs do tipo compactas de baixo crescimento foram consideradas mais quentes. A classificação de LCZ obtida foi utilizada nas pesquisas de Kotharkar, Bagade e Ramesh (2019) e Kotharkar, Gosh e Kotharkar (2021).

A pesquisa de Ren et al. (2019) foi realizada com intuito de servir como uma referência para a geração de mapas de LCZ para mais de 20 cidades e 3 principais regiões através do uso detalhado e abrangente da aplicação do método WUDAPT e de uma estratégia de refinamento viável para melhorar a precisão da classificação. Os mapas LCZs foram gerados a partir de imagens Landsat adquiridas de 2014 a 2015. Os autores concluíram que o método padrão WUDAPT por si só não era suficiente para geração de mapas devido à grande falta de dados de altura das construções.

No estudo realizado por Wang et al. (2019) foi realizado o mapeamento para classificação de LCZs e para detectar mudança histórica da cobertura da terra, relacionando à variação da temperatura da superfície da terra (LST) na região do Delta do Rio dos Pérolas na China. Os autores se basearam na metodologia WUDAPT e utilizaram imagens de Landsat a qual foram inseridas em mosaicos dentro de uma imagem que cobriu a área de estudo. As imagens Landsat pré-processadas e as amostras de treinamento selecionadas foram usadas para treinar um classificador usando a ferramenta de classificação LCZ no SAGA. Como resultado o autor encontrou que a média do período de verão de LST continuou crescendo durante os

---

<sup>3</sup> Dados obtidos de um portal da web gerenciado pela Organização Espacial de Pesquisa da Índia (ISRO) que exibem as imagens de satélite de resolução variável das superfícies terrestres da Índia

anos de 2000 à 2009, o seu LST médio aumentou cerca de 0,41 °C e 1,62 °C durante o dia e a noite, já entre os anos de 2000 à 2015 o crescimento médio do LST no período de verão foi de 0,72 °C e 0,39 °C para o período diurno e noturno, respectivamente. Além disso os autores encontraram que o LST médio dos tipos construídos é superior ao dos naturais. As LCZs 2, 8 e 10 tiveram os maiores valores de LST, e as LCZs A, B e C apresentaram valores médios relativamente baixos.

A partir dessa classificação, Lau, Chung e Ren (2019) investigaram as diferenças nas condições microclimáticas e a sensação térmica subjetiva de pedestres em diferentes LCZ em Hong Kong, onde seus resultados indicaram que a temperatura máxima mais alta foi encontrada na LCZ 1 com cerca de 38,9 °C e a temperatura máxima baixa foi observada nas LCZs de cobertura do solo com cerca de 29,9 °C. As LCZs de Hong Kong foram classificadas de acordo com Wang et al. (2017). Os autores fizeram medições *in loco*, cálculos baseados em sistemas e informações geográficas (GIS), além do uso de imagens a partir de sensoriamento remoto, utilizando a metodologia WUDAPT, identificando 17 tipos padrão de LCZs. Seus resultados indicaram que ambos os métodos baseados em GIS e WUDAPT são adequados na detecção de LCZs de áreas urbanas de alta densidade, já os dados WUDAPT (nível 0) podem ser usados como dados de entrada para modelos meteorológicos e climáticos, como um modelo de pesquisa e previsão do tempo.

A pesquisa de Mughal et al. (2019) teve o intuito de avaliar o desempenho do sistema acoplado WRF/MLCUM na região tropical de Singapura com o mapa LCZ, além de investigar o ciclo diurno e padrão espacial das ilhas de calor, e estudar o impacto do AH<sup>4</sup> na Ilha de Calor Urbano e circulações locais. Os autores fizeram simulações gerando mapas de LCZ para Singapura desenvolvidos a partir da metodologia WUDAPT, a partir do uso de imagens Landsat 8 e dados de altura de construção de alta resolução. As ilhas de calor atingiram seu pico próximo da meia-noite permanecendo constante o resto da noite e ao amanhecer atingiu 3,6 °C nas áreas onde estão localizadas as LCZ 1. Os autores encontraram também que a AH contribuiu com cerca de 1,9 °C para a intensidade máxima da ilha de calor e 2,1 °C nas LCZs 1.

No estudo de Thomas, Soosen e Zachariah (2020) foi investigado a variação da intensidade de ilhas de calor urbano em diferentes zonas climáticas locais em Kochi, na Índia. As zonas climáticas locais foram classificadas com base em medições, com a ajuda de imagens do Google e mapas topográficos, onde foram encontrados 12 tipos de zonas. Os autores

---

<sup>4</sup> A energia liberada de fontes humanas como veículos, edifícios comerciais e residenciais, indústria, usinas de energia e metabolismo humano compreende AH.

posteriormente elaboraram travessias móveis durante o inverno e verão de 2019 para encontrar a intensidade e variação espacial de ilhas de calor urbano nessas Zonas Climáticas Locais, encontrando que a maior intensidade de ilha de calor urbano observada na cidade foi de 5,3 °C e 4,3 °C durante a manhã de inverno e verão, respectivamente, e a intensidade máxima de ilha de calor urbano foi observada em ambas as estações durante o final da noite, na ordem de 3,3 °C.

Kotharkar, Bagade e Singh (2020) em sua pesquisa para a cidade de Nagpur, na Índia propuseram identificar e classificar a criticidade da LCZ com base na alta exposição a ilha de calor urbano. Em seu trabalho foi utilizado o método de examinar o impacto da intervenção ao nível do edifício, da rua e da área na temperatura do ar em LCZs críticas, onde os autores trataram da temperatura do ar e da investigação de ilhas de calor urbano. Os autores identificaram nos resultados que as técnicas de normalização auxiliaram na estabilidade da LCZ crítica. As LCZs de Nagpur utilizadas pelos autores foram classificadas por Kotharkar e Bagade (2018b). Os resultados de Kotharkar, Bagade e Singh (2020) mostraram que na LCZ 3 houve redução na temperatura do ar durante o dia e uma queda considerável de 0,4 °C no período noturno devido ao aumento do número de árvores.

A pesquisa de Mughal, Li e Norford (2020) avaliou o impacto das estratégias de mitigação de ilhas de calor urbano e também o aumento da densidade urbana, da temperatura do ar próximo à superfície e o estresse térmico dos habitantes em Singapura, na Malásia. Os autores empregaram o modelo Weather Research and Forecasting (WRF) para avaliar cenários de mitigação de ilha de calor urbano para Cingapura durante abril de 2016, incluindo dois períodos de ondas de calor. A classificação das LCZs para Singapura foi desenvolvida no estudo de Mughal et al. (2019), seguindo a metodologia WUDAPT e o uso de imagens Landsat 8, além de dados de altura de construção de alta resolução. As zonas locais classificadas de Singapura foram usadas como dados de uso/cobertura da terra para contabilizar a variabilidade intra-urbana. As simulações realizadas no estudo mostraram que a intensidade de ilhas de calor da camada do dossel em Singapura atingiu cerca de 5 °C em áreas compactas durante a noite e que a implantação de telhados frios em escala urbana proporciona uma redução geral de 1,3 °C na temperatura do ar durante o dia próximo à superfície em grandes áreas baixas.

Dutta, Basu e Agrawal (2021) em seu estudo para a cidade de Nova Delhi, Índia, tiveram como premissa fazer uma simulação que alcançasse um nível de resfriamento ideal para determinadas estruturas urbanas com destaque as possíveis mudanças no ambiente térmico enfrentadas pelas regiões suburbanas. Os autores utilizaram imagens do Google Earth e de

satélite nas áreas de treinamento e mapeamento da temperatura da superfície da terra (LST), em seguida identificaram as SUHI (Ilha de Calor Urbano de Superfície) e o zoneamento do UTCI (Índice Climático Térmico Universal) juntamente com o mapeamento de Albedo. As classes LCZs foram obtidas pelo processamento de imagens de satélite Landsat 8. Dessa forma foram identificados que LCZ 3, 8 e 10 afetaram criticamente o ambiente térmico, enquanto a LCZ 9 reduziu relevantemente os efeitos da ilha de calor de superfície. Além disso a variação da temperatura da superfície dentro das LCZs refletiu um aumento significativo da temperatura em certos bolsões urbanos e ao longo de uma distância de 12 km que continha vegetação até edificações densas baixas foi percebido um aumento de temperatura de 8,76 °C a noite.

Huang et al. (2021) em seu trabalho simulou as conversões entre vários tipos de terrenos urbanos definidos no mapeamento LCZ, as quais foram classificadas seguindo as diretrizes do WUDAPT. Os autores aplicaram a metodologia proposta de integração de mapeamento LCZ e modelagem LCLUC<sup>5</sup> para simular mudanças na área metropolitana do Delta do Rio das Pérolas (PRD) no sul da China de 2009 a 2014. Embora o método não tenha simulado com precisão as mudanças de terrenos foram classificadas 17 categorias de Zona climática Local (LCZ) e 8 categorias de Zona climática Local Simplificada (SLCZ). Como resultado os autores alcançaram precisões nas classificações em terrenos urbanos de alto (84%) e baixo (82%) porte, enquanto terrenos de médio porte (40%) apresentaram um desempenho relativamente ruim.

Du et al. (2022) em sua pesquisa teve o intuito de explorar o mecanismo do fenômeno único de ilha de umidade urbana (UMI) em Hong Kong, na China, através da investigação das variações espaço-temporais da umidade do ar por meio de modelagem climática regional de alta resolução. Os autores investigaram os padrões de variação espaço-temporal da UMI em Hong Kong, usando o modelo WRF, integrando os mapas de zona climática local (LCZ) ao qual foram classificadas através da metodologia do WUDAPT. Em seu estudo foram feitas simulações das variações espaço-temporais na umidade do ar em Hong Kong, além da identificação dos mecanismos regionais e intra-urbanos de transporte de umidade e a investigação a respeito do impacto agravante da UMI no estresse térmico. Os resultados indicaram que a criação de um mapa de índice de calor em escala de bairro de alta resolução (333m) sobre Hong Kong, pode fornecer referências significativas de saúde pública para residentes locais e o governo. O mapa mostrou que a UMI pode aumentar significativamente a temperatura equivalente percebida pelo homem, com maior intensidade ao longo do dia em

---

<sup>5</sup>Modelo Cellular Automata (CA) landcover/land-use change (LCLUC) utilizado para uma nova estrutura metodológica para prever futuros mapas de LCZ.

regiões costeiras de baixa densidade (LCZ 5, 8 e 10), em 5,39 °C devido a maior intensidade de UMI, enquanto nas LCZs 1 e 2 a temperatura aumentou em 6,56 °C.

Luo et al. (2023) em seu estudo para a cidade de Guangzhou, foram utilizados dados de estações meteorológicas automáticas e dados de reanálise ERA 5 para explorar e elucidar os efeitos da velocidade do vento e das LCZs. A classificação de LCZs, foi elaborada conforme definido por Stewart e Oke (2012). Os resultados encontrados nas estações urbanas de LCZ consistiam em três tipos compactos (LCZ 1, LCZ 2 e LCZ 3) e dois tipos abertos (LCZ 4 e LCZ 5). Além de LCZs com características de vegetação, como árvores densas (LCZ A), arbustos e cerrados (LCZ C) e plantas rasteiras (LCZ D). Os resultados desta pesquisa também mostraram que a temperatura média geral da LCZ 1 foi de aproximadamente 0,4 °C inferior a LCZ 2 e LCZ 3. A diferença de temperatura aumentou acentuadamente após 07:00 h – 08:00 h, e a diferença máxima chegou a aproximadamente 1 °C. A diferença de temperatura diminuiu ao meio-dia e em seguida após às 17:00 h.

O estudo de Sharma et al (2016) elaborou o mapeamento LCZs para a cidade de Delhi através do WUDAPT. Além de utilizarem imagens de satélite Landsat-8 de 2014 e 2015. A fração de vegetação foi especificada em função do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Além disso os autores fizeram o uso do modelo UrbClim<sup>6</sup> para a cidade, que utilizou dados de cobertura do solo para especificar os parâmetros da superfície do solo com base nos tipos de cobertura do solo. Os autores encontraram nos resultados da classificação 10 tipos de LCZ de construção e um de cobertura do solo. Os resultados deste estudo também mostram que o UrbClim pode ser configurado facilmente para qualquer cidade.

Das e Das (2020) em seu estudo para a cidade de Bengala, as LCZs foram classificadas a partir do *software* Google Earth por visualização detalhada e realização de pesquisa de campo. Os princípios básicos adotados para a seleção de LCZs foram: (a) uma área com raio de 500 m (b) uma área com cobertura de superfície de terra uniforme, bem como materiais de construção e (c) natureza diversificada de LCZs para abrangência do estudo, respectivamente. Com base nestes princípios básicos, foram identificados cerca de 23 locais de várias LCZs. O comportamento térmico de várias classes de LCZ foi avaliado selecionando locais específicos de LCZ sobre a paisagem de estudo e de acordo com a pesquisa de campo realizada foi documentado que as temperaturas variam de 28,8 °C à 42,2 °C, a umidade relativa varia entre 43,75% e 72%. Os resultados mostraram que a temperatura média mais alta registrada (38,25

---

<sup>6</sup> O modelo UrbClim simula longos períodos de tempo em uma alta resolução espacial (~100 m) a um custo computacional acessível, sem comprometer a precisão.

°C) foi encontrada na LCZ 3 em comparação com a LCZ 6 (36,95 °C) e a LCZ 9 (35,2 °C). A temperatura média sobre os tipos de cobertura natural do solo variou de 31,65 °C (LCZG) à 34,8 °C (LCZF). A umidade relativa do ar média variou de 49,5% a 68,5%. A mais alta foi observada em LCZ G (72%). O resultado do estudo também mostrou que o nível de conforto térmico ao longo das LCZs varia e essa variação foi atribuída ao padrão morfológico e à geometria dos espaços exteriores. A partir do resultado, foi registrado que a temperatura máxima em LCZs de tipos construídos, se encontram nas LCZ 3, LCZ 6 e LCZ 9. Por outro lado, temperaturas relativamente mais baixas foram registradas nas LCZs dominadas por cobertura natural do solo, como cobertura florestal e corpos d'água.

No estudo de Li et al. (2022) para algumas cidades (Yuanjiang, Jinghong, Kunming, Zhaotong e Shangri-La) localizadas na província de Yunnan, mapas de LCZs e LST confiáveis foram gerados utilizando a metodologia WUDAPT. Os resultados mostraram que o clima desempenhou um papel fundamental na variação do LST em cada LCZ. No verão, as LCZs C e F (em Yuanjiang e Zhaotong) atingiram a maior LST. Nas outras cidades, as LCZs 8 e 10 obtiveram a maior LST, seguidas pelas LCZs 2, 3 e F. Um resultado bastante interessante foi observado que as LCZs G tenderam a obter o maior LST em Shangri-La no inverno. As LCZs construídas exibiram principalmente efeitos de aquecimento em Jinghong e Shangri-La, e efeitos de resfriamento em Yuanjiang e Zhaotong no verão. LCZs construídas impuseram efeitos de aquecimento e resfriamento em Kunming. As LCZs A, B e G produziram principalmente efeitos de resfriamento, independentemente da estação. As contribuições térmicas das LCZs C e F representaram vários padrões entre as cinco cidades, embora geralmente impusessem efeitos de aquecimento.

No estudo de Sharma et al. (2018) para a cidade de Delhi foi utilizado o modelo UrbClim, onde vários índices de estresse térmico foram empregados para entender o papel da ilha de calor urbana em influenciar o clima urbano presente e futuro da cidade. A distribuição espacial dos tipos de cobertura do solo necessária para a especificação dos parâmetros de superfície do solo, foi retirado do mapa de LCZ gerado usando a metodologia WUDAPT. Para entender o efeito de diferentes LCZs urbanas em relação as ilhas de calor, diferentes indicadores foram calculados para as mesmas. Assim os autores elaboraram análises, entre as LCZs 1 e 3, e LCZs 4 e 6, além da análise da LCZ 9. Os resultados indicam que com o aumento da densidade de edificações urbanas, a intensidade da ilha de calor aumenta. As LCZs 4 e 6 apresentaram uma temperatura de 1,2 °C mais quente que a LCZ 9. LCZs 1 e 3 apresentaram 0,61 °C a mais.

É notório que os estudos no continente asiático vêm ganhando espaço e trazendo contribuições diversas, os autores em destaque foram Kotharkar, Bagade, Mughal, Ren e Sharma, que elaboraram mais de um estudo.

Os trabalhos do continente Africano se iniciaram a partir do estudo de Daramola e Balogun (2019) que em sua pesquisa utilizaram a distribuição de superfícies impermeáveis e cobertura vegetal dentro da cidade de Akure, Nigéria a qual foi avaliada a partir do modelo de Balanço Energético de Superfície sobre a Terra (SEBAL) baseado em sensoriamento remoto utilizando o sensor Landsat OLI/TIRS e imagens contidas em um arquivo com resolução espacial de 30 m onde foram obtidas do United States Geological Survey (USGS) através do portal Earth Explorer. Dessa forma a cidade foi subdividida em diferentes LCZs de acordo com Stewart e Oke (2012). Os autores classificaram sete zonas construídas (LCZs 3, 6, 6<sub>C</sub>, 7<sub>F</sub>, 8, 8<sub>CD</sub> e 9) e cinco tipos de cobertura do solo (LCZ A, A<sub>B</sub>, A<sub>BC</sub>, C<sub>D</sub> e E). Os resultados mostraram que LCZ 3 e LCZ 6 possuem uma cobertura de superfície impermeável acima de 50%, onde houve as maiores intensidades de fluxo de calor sensível, enquanto outras zonas com menor porcentagem de cobertura de superfície impermeável, como a LCZ 6<sub>c</sub> e 9 demonstraram menores intensidades de fluxo de calor sensível.

Já no estudo de Kabano, Lindley e Harris (2021), os autores examinaram o impacto das intensidades de ilha de calor urbano (UHI) na fenologia da vegetação na cidade tropical de Kampala, Uganda, na África, com o intuito de determinar a variabilidade espacial na fenologia da paisagem em relação ao grau de urbanização; buscaram determinar, também, o efeito combinado da forma urbana e distância do centro da cidade em relação a LST, e estabelecer como os padrões espaciais de LST variam ao longo dos anos, além de avaliar o efeito das variações do LST na fenologia. Foram usadas imagens de satélite de sensoriamento remoto de 2013 a 2015, para as quais os autores restringiram a seleção de imagens por três anos para minimizar o efeito das rápidas mudanças na forma urbana da cidade. A classificação de LCZ foi baseada em Stewart e Oke (2012), as quais foram caracterizadas a partir do uso de imagens do US Geological Survey Earth Explorer, Landsat 8 OLI. Além disso, os autores usaram o método de classificação WUDAPT para mapear as LCZs de Kampala. Assim, foi identificado que a abundância de vegetação (EVI) deu diferenças significativas entre as LCZs. As LCZ 9 e LCZ 6 tiveram valores de EVI com 17% e 34% menores, respectivamente, do que na LCZ B. A LCZ 3<sub>F</sub> registrou o EVI 47% menor que LCZ B.

Walle et al. (2021) comparou mapas de LCZ derivados de trabalho de campo na cidade de Kampala, na África, com um mapa existente obtido a partir da estrutura do WUDAPT para

a mesma cidade e encontrou grandes diferenças entre as classificações. Para o trabalho de campo os autores utilizaram parâmetros detalhados de dossel urbano universais (UCPs) com UCPs derivadas de campos específicos do local para a cidade com o intuito de classificar um mapa de LCZs para melhorar a representação física de características morfológicas, térmicas e radiativas urbanas relevantes para o clima. Os autores derivaram UCPs universais utilizando a metodologia WUDAPT para estruturar as LCZs. Os valores dos parâmetros que foram usados para classificar as LCZs foram baseados no método de Stewart e Oke (2012). Os autores classificaram as LCZs em 2, 3, 5, 6, 7 e 8, e devido à grande fração de vegetação na área de periferia da cidade notou-se reduções de temperaturas, principalmente no período da manhã.

Os trabalhos no continente Europeu se iniciaram a partir do estudo de Skarbit et al. (2017) onde foram analisadas as condições médias anuais e sazonais da temperatura do ar nas LCZs de Szeged, Hungria. As LCZs foram classificadas baseadas no estudo de Skarbit e Gál (2016) que foi um dos trabalhos também encontrados nessa revisão de literatura.

Skarbit e Gál (2016) utilizaram a metodologia de Stewart e Oke (2012) e o método de Bechtel<sup>7</sup> et al (2015). Além disso, as condições médias anuais e sazonais da temperatura foram analisados por um ano (2014 a 2015) por um conjunto de dados de uma rede meteorológica urbana de 20 estações, onde cada estação foi implanta em um local representativo, utilizando o método de Sistema de Informações Geográficas (GIS).

E como resultados os autores observaram que quatro classes de LCZ são ausentes em Szeged: A LCZ 1, LCZ 4, LCZ 7 e LCZ 10. Enquanto as LCZ 2 e 3 estão localizadas no centro da cidade. A LCZ 5 está localizada próxima ao centro da cidade, também nas áreas do norte e sul. As LCZs mais comuns são a LCZ 6 e a 9. Enquanto a parte noroeste da cidade são encontradas LCZs do tipo 8. Dessa forma, foi percebido que a tendência da temperatura média é que seus valores diminuam à medida que edifícios altos vão se tornando mais baixos, a diferença maior é encontrada na LCZ D com 1,1 °C, no verão, e 0,7 °C, no inverno. A LCZ 2 foi classificada como a mais quente tanto no verão quanto no inverno. Além disso, foi percebido que as LCZs 3 e D chegaram a apresentar uma diferença de 4,4 °C no verão, já no inverno essa diferença chegou a ser 1,6 °C. A diferença de temperatura entre as LCZs 3 e 6, no verão, foram de 3,4 °C, já entre as LCZs 2 e 5 foi de 2,0 °C e entre a LCZ 2 e 8 foi de aproximadamente 1,2 °C.

---

<sup>7</sup> O método aplica imagens de satélite de acesso livre e software de código aberto. São necessários dois programas de software (Google Earth e SAGA-GIS) e a aplicação de imagens de satélite Landsat como entrada.

Geletič et al. (2019) em seu estudo para a cidade de Brno, na República Tcheca, quiseram demonstrar se o modelo numérico utilizado na pesquisa era capaz de simular o clima urbano recente comparando os resultados do modelo com as medições reais. As zonas climáticas locais foram baseadas no estudo de Geletič e Lehnert e Dobrovolný (2016) e calculadas usando uma abordagem baseada em GIS (Baseado nas propriedades físicas mensuráveis do ambiente e em um algoritmo de tomada de decisão claramente definido). O algoritmo derivou dos parâmetros físicos básicos do ambiente: fração da superfície edificada, fração da superfície permeável, fração da superfície impermeável, altura dos elementos de rugosidade e relação H/W. Como resultado os autores encontraram que as LCZs 8, 10 e E são as mais quentes e que as ilhas de calor não eram formadas até as 13:00 h, segundo o resultado das simulações. Outro resultado importante encontrado é que as ilhas de calor são formadas a partir das 14:00 h, incluindo as áreas de LCZs 1 e 2. Nas LCZs 8, 10 e E formam regiões quentes com temperaturas acima de 31 °C, enquanto na LCZ B a temperatura do ar atingiu cerca de 29 °C. Já as temperaturas mais baixas foram identificadas na LCZ A, localizadas em altitudes mais elevadas nas regiões norte e noroeste com temperatura de 26 °C.

No estudo de Gál et. al (2021) os autores fizeram a análise e comparação dos padrões dos valores anuais das noites tropicais (TNs) com o intuito de quantificar a carga térmica das cidades na Bacia dos Cárpatos em relação as mudanças climáticas atuais (1981-2010). O estudo foi baseado no WUDAPT e em imagens Landsat de diferentes datas, a fim de obter LCZs mais precisas para a classificação. Dessa forma, foi percebido que o padrão de valores mais elevados de TNs se estendeu para a estrutura compacta da LCZ 3, além dos altos valores resultantes da LCZ 8.

Os trabalhos do continente Americano se iniciaram a partir do estudo de Cardoso e Amorim (2018) a qual fizeram a análise do fenômeno ilha de calor urbano durante um período de inverno em Presidente Prudente/ São Paulo, classificando seus diferentes padrões de paisagem. As autoras classificaram diferentes arranjos paisagísticos com base no sistema de classificação de LCZ. A aplicação da LCZ em Presidente Prudente foi baseada no estudo de Cardoso (2015), que elaborou um mapa com as Potencias Unidades Climáticas (PUC) em Presidente Prudente, no qual as classes das PUCs foram identificadas na malha urbana através da interpretação visual da imagem do satélite GeoEye-1 e pela plataforma ArcGIS. Como resultado foi percebido que as PUCs 2<sub>3</sub> e 2<sub>4</sub> foram de 0,3 °C no verão e 0,8 °C no inverno as PUCs 2<sub>3</sub> e 7 tiveram diferença de 1,2 °C e 1,5 °C, respectivamente, e apesar dos materiais construtivos de cada uma dessas PUCs serem diferentes elas apresentam morfologia

semelhantes e essa diferença de temperatura possui relação direta com a presença de vegetação na PUC 7, confirmando o papel da vegetação como estratégia eficaz para amenizar o clima.

Pacifici, Rama e Marins (2019) em seu estudo para a cidade de São Paulo visou analisar e destacar os efeitos climáticos causados por formas urbanas. Dessa maneira, o mapa de LCZs foi utilizado para definir a estrutura urbana. Os autores se basearam na classificação mais atualizada de LCZ para São Paulo elaborada por Ferreira et al. (2017), baseada na metodologia WUDAPT. O mapa utilizou a abordagem baseada em GIS. Dessa maneira, foi feita uma análise urbana de mesoescala que mostrou grande prevalência de LCZ compacta (LCZ 3) e aberta de baixo crescimento (LCZ 6), além da baixa presença de LCZ 1 e LCZ 4. Os resultados mostraram diferentes graus de variabilidade da temperatura em espaços urbanos ao ar livre.

O estudo de Pereira, Masiero e Bourscheidt (2021) avaliou a influência da desigualdade socioespacial em Santos, Brasil e sua relação subjacente com padrões desiguais do ambiente urbano no microclima e o conforto térmico externo em duas LCZs distintas com base na Temperatura radiante média e na temperatura do ar, ou seja, arranha-céus compactos (LCZ 1) e prédios baixos compactos (LCZ 3). O mapa de LCZs foram produzidos de acordo com a metodologia WUDAPT, além de terem sido baseados em três cenas diurnas do LANDSAT 8 (26 de julho e 15 de novembro de 2017 e 30 de agosto de 2018) em áreas de treinamento selecionadas no Google Earth, e no algoritmo para classificação LCZ dentro da versão System for Automated Geoscientific Analyzes (SAGA) 6.4 onde a resolução espacial do mapa LCZ foi de 100 m. Os autores tiveram como resultado que a LCZ 1 foi cerca de 4 °C inferior a LCZ 3 na estação mais quente e a condição térmica variou muito dentro da LCZ 1 devido à verticalização das edificações e escassez da vegetação.

Pokhrel, Ramírez-Beltran e González (2019) em seu estudo para a cidade de San Juan, foi elaborado como etapa primária a classificação de LCZs através do WUDAPT, em seguida a integração de LCZs em WRF, a definição dos parâmetros urbanos, e, finalmente, validação e análise dos resultados. Como resultado foi percebido que os edifícios compactos baixos e compactos representa mais de 90% da demanda total, enquanto os grandes edifícios baixos, esparsamente construídos e abertos são de apenas 3%.

No estudo de Ribeiro et al. (2022) o mapa LCZ de Sacramento foi baseado em avaliações de campo e interpretação visual de produtos de satélite de alta resolução, além de imagens de rua disponíveis no Google Earth. Os tipos de LCZ foram definidos de acordo com as folhas de dados LCZ padrão (Stewart e Oke, 2012). Como resultado foram encontradas as seguintes LCZs: 3, 6, 7, A, B, D, G, 3<sub>B</sub>, 3<sub>D</sub> e 8<sub>D</sub>. Além disso os autores encontraram que os

maiores valores máximos diários de temperaturas foram observados nas classes compactas (LCZs 3 e 7) durante as noites com condições climáticas ideais (secas, claras e calmas) e de maior liberação de calor antrópico (dias de semana); e que não houve nenhuma diferença térmica significativa capturada em LCZs entre as estações chuvosa e seca. Já em relação as áreas mais quentes, as diferenças de temperatura das LCZs 3 e 7 excederam as das LCZ 6.

O estudo de Eldesoky, Gil e Pont (2021) destaca-se dos demais trabalhos apresentados por não se limitar a uma única cidade. Os autores buscaram entender o impacto do aquecimento global na Temperatura da Superfície Terrestre (LST) absoluta dos diferentes tipos de LCZ, de 86 cidades disponíveis no banco de dados WUDAPT, e sua LST relativa quando comparada com um tipo de LCZ de referência (frio), por exemplo, LCZ D (vegetação baixas). Foram usadas imagens do Landsat 7 e Landsat 8 disponíveis na nuvem do Google, adquiridas de janeiro a dezembro de 2017 a 2019, e com cobertura máxima de nuvem de 60% a qual foram utilizadas para calcular o LST e o NDVI<sup>8</sup>. Seus resultados mostraram que os tipos de LCZ na região de clima árido têm maior variabilidade em comparação com todas as outras regiões macro climáticas, onde o IQR (intervalo interquartil) é de 4 °C ou mais, com um extremo em LCZ 3 de cerca de 13 °C.

É evidente a enorme contribuição dos estudos relacionados aos continentes Europeu, Africano e Americano, ambos com seus diferentes métodos, cada continente teve sua peculiaridade. O Quadro 5 apresenta uma síntese dos principais resultados obtidos nos artigos, em ordem cronológica, destacando os autores e ano, além da cidade que foi objeto de estudo, sua classificação de acordo com Köppen e a descrição dos principais resultados encontrados.

---

<sup>8</sup> É uma medida de intensidade da vegetação e varia de -1 a 1. Valores altos de NDVI (~.60-.90) indicam vegetação densa, enquanto valores baixos, próximos de zero, correspondem a áreas construídas, solo nu ou areia.

**Quadro 5** - Distribuição dos principais resultados identificados nos estudos da revisão sistemática da literatura desenvolvida

<b>Autor (Ano)</b>	<b>Cidade (País)</b>	<b>Classif. de Köppen</b>	<b>Método</b>	<b>Principais Resultados</b>
Morris et al. (2015)	Putrajaya (Malásia)	Af	Por meio de coletas de metadados e da delimitação da área de origem definidas em um raio de 100 m de locais de coleta de dados em ambientes urbanos densos e 200 m de raio para áreas de busca mais abertas.	Uma comparação preliminar entre as diferentes LCZs mostrou forte influência do tipo de cobertura do solo. A intensidade das ilhas de calor urbano variou, durante à noite, entre 1,9 °C e 3,1 °C. As áreas com vegetação apresentaram as temperaturas mais amenas em Putrajaya.
Perera e Emmanuel (2016)	Colombo (Siri Lanka)	Af	Os autores obtiveram como principal fonte de informação um mapa detalhado em AutoCAD da cidade que incluíram informações sobre bairros urbanos, edifícios, estradas, corpos d'água e contornos de terrenos, além de terem utilizado a metodologia WUDAPT.	Outro resultado foi a mudança de LCZ 8 para LCZs 1 e 4 criando um aumento na temperatura de 3,3 °C e 3,25 °C, respectivamente, além da mudança da LCZ 6 para LCZ 8 que obteve uma redução de 0,77 °C por conta de áreas residenciais estarem sendo transformadas em instituições educacionais.
Skarbit e Gál (2016)	Szeged (Hungria)	Cfa	Metodologia de Stewart e Oke (2012) e o método Betchel (2015)	As classes mais comuns são abertas de baixo crescimento (LCZ 6) e escassamente construídas (LCZ 9). A parte noroeste da cidade inclui grandes edifícios baixos (LCZ 8).
Sharma et al. (2016)	Delhi (Índia)	Bsh	A classificação foi baseada no WUDAPT, imagens de satélite e pelo índice NDVI.	Os resultados da classificação LCZ foram compostos por 10 classes urbanas da LCZ, e uma de cobertura do solo.
Cai et al. (2017)	Delta do Rio Yangtze	-	Para a classificação das LCZs foi utilizada a metodologia WUDAPT.	A LCZ 1 (edifício compacto alto) teve o LST mais alto entre as classes de LCZ construídas com valores médios de 27,3 °C e 20,8 °C para Xangai e Hangzhou, respectivamente. A LCZ 9 (escassamente construída) mostrou uma tendência oposta nas duas cidades com 0,2 °C acima da média em Xangai, mas 1,8 °C abaixo da média em Hangzhou. Já a LCZ A (árvores densas) demonstrou menor LST, em ambas as cidades, com valores médios respectivamente de 26,1 °C e 15,4 °C, observados em Xangai e Hangzhou. Na LCZ E (rocha nua ou pavimentada) foram obtidos valores acima da média e a LCZ G teve o LST mais alto devido à maior capacidade de calor.
Skarbit et al. (2017)	Szeged (Hungria)	Cfa	Foram aplicadas imagens de satélite de acesso livre e software de código aberto, além do uso dos softwares Google Earth e SAGA-GIS, além da aplicação de imagens de satélite Landsat.	Como resultado foi percebido que a tendência da temperatura média é que seus valores diminuam à medida que edifícios altos vão se tornando mais baixos, a diferença maior é encontrada na LCZ D com 1,1 °C, no verão, e 0,7 °C, no inverno. A LCZ 2 foi classificada como a mais quente tanto no verão quanto no inverno. Além disso, foi percebido que as LCZs 3 e D chegaram a apresentar uma diferença de 4,4 °C no verão, já no inverno essa diferença chegou a ser 1,6 °C. A diferença de temperatura entre as LCZs 3 e 6, no verão, foi de 3,4 °C e entre as LCZs 2 e 5 foi de 2,0 °C e entre a LCZ 2 e 8 foi de aproximadamente 1,2 °C.

CONTINUA

Autor (Ano)	Cidade (País)	Classif. de Köppen	Método	Principais Resultados
Cardoso e Amorim (2018)	Presidente Prudente (Brasil)	Aw	Foi elaborado um mapa com as Potencias Unidades Climáticas (PUC) em Presidente Prudente, no qual as classes das PUCs foram identificadas na malha urbana através da interpretação visual da imagem do satélite GeoEye-1 e pela plataforma ArcGIS.	Como resultado foi percebido que as PUCs 2 <sub>3</sub> e 2 <sub>4</sub> foram de 0,3 °C no verão e 0,8 °C no inverno as PUCs 2 <sub>3</sub> e 7 tiveram diferença de 1,2 °C e 1,5 °C, respectivamente, e apesar dos materiais construtivos de cada uma dessas PUCs serem diferentes elas apresentam morfologia semelhantes e essa diferença de temperatura possui relação direta com a presença de vegetação na PUC 7, confirmando o papel da vegetação como estratégia eficaz para amenizar o clima.
Sharma et al. (2018)	Delhi (Índia)	Bsh	A classificação foi baseada na metodologia WUDAPT.	Os resultados indicam que com o aumento da densidade de edificações urbanas, a intensidade da ilha de calor aumenta. As LCZs 4 e 6 apresentaram uma temperatura de 1,2 °C mais quente que a LCZ 9 e as LCZs 1 e 3 apresentaram 0,61 °C a mais.
Lau, Chung e Ren (2019)	Hong Kong (China)	Cfa	Os autores fizeram medições in loco, cálculos baseados em sistemas e informações geográficas (GIS), além do uso de imagens a partir de sensoriamento remoto, utilizando a metodologia WUDAPT.	Os resultados indicaram que a temperatura máxima mais alta foi encontrada na LCZ 1 com cerca de 38,9 °C e a temperatura máxima mais baixa foi observada nas LCZs de cobertura do solo com cerca de 29,9 °C. As LCZs de Hong Kong foram classificadas de acordo com Wang et al. (2017).
Mughal et al. (2019)	Singapura (Malásia)	Af	Os autores fizeram simulações gerando mapas de LCZ para Singapura desenvolvidos a partir da metodologia WUDAPT a partir do uso de imagens Landsat 8 e dados de altura de construção de alta resolução.	As ilhas de calor atingiram seu pico próximo da meia-noite permanecendo constante o resto da noite e ao amanhecer atingiu 3,6 °C nas áreas onde estão localizadas as LCZ 1. Os autores encontraram também que a AH contribuiu com cerca de 1,9°C para a intensidade máxima da ilha de calor e 2,1°C nas LCZs 1.
Ren et al. (2019)	Diversas cidades (China)	-	Os mapas LCZs foram gerados a partir de imagens Landsat adquiridas de 2014 a 2015.	Os autores concluíram que o método padrão WUDAPT por si só não era suficiente para geração de mapas devido à grande falta de dados de altura das construções
Kotharkar, Bagade e Ramesh (2019)	Nagpur (Índia)	Aw	Baseado no estudo de Kotharkar e Bagade (2018b) que definiu as LCZ segundo a metodologia de Stewart e Oke (2012), os autores para refinar as LCZs utilizaram os softwares ArcGIS, o Google Earth Pro e o AutoCAD e ao finalizar o mapeamento foram feitos levantamentos fotográficos nos locais para a coleta de dados e validação do mapa.	Os resultados mostraram que a intensidade de ilhas de calor dentro das LCZs tipo construída variaram de 1,76 °C a 4,09 °C no inverno. Já as LCZs do tipo compactas de baixo crescimento foram consideradas mais quentes. (KOTHARKAR E BAGADE, 2018).

CONTINUA

Autor (Ano)	Cidade (País)	Classif. de Köppen	Método	Principais Resultados
Wang et al. (2019)	Delta do Rio dos Pérolas (China)	-	Foi realizado o mapeamento para classificação de LCZs e os autores se basearam na metodologia WUDAPT e utilizaram imagens de Landsat a qual foram inseridas em mosaicos dentro de uma imagem que cobriu a área de estudo.	Como resultado o autor encontrou que a média do período de verão de LST continuou crescendo durante os anos de 2000 à 2009, o seu LST médio aumentou cerca de 0,41 °C e 1,62 °C durante o dia e a noite, já entre os anos de 2000 à 2015 o crescimento médio do LST no período de verão foi de 0,72 °C e 0,39 °C para o período diurno e noturno, respectivamente. Além disso os autores encontraram que o LST médio dos tipos construídos é superior ao dos naturais. As LCZs 2, 8 e 10 tiveram os maiores valores de LST, e as LCZs A, B e C apresentaram valores médios relativamente baixos.
Geletič, et. al (2019).	Brno (República Tcheca)	Cfb	Foram feitos cálculos usando uma abordagem baseada em GIS.	Como resultado os autores encontraram que as LCZs 8, 10 e E são as mais quentes e que as ilhas de calor não eram formadas até as 13h, segundo o resultado das simulações. Outro resultado importante encontrado é que as ilhas de calor são formadas a partir das 14h, incluindo as áreas de LCZs 1 e 2. Nas LCZs 8, 10 e E formam regiões quentes com temperaturas acima de 31 °C, enquanto na LCZ B a temperatura do ar atingiu cerca de 29 °C. Já as temperaturas mais baixas foram identificadas na LCZ A, localizadas em altitudes mais elevadas nas regiões norte e noroeste com temperatura de 26 °C.
Daramola e Balogun (2019)	Akure (Nigéria)	Aw	Foi utilizado a distribuição de superfícies impermeáveis e cobertura vegetal dentro da cidade de Akure, Nigéria a qual foi avaliada a partir do modelo de Balanço Energético de Superfície sobre a Terra (SEBAL) baseado em sensoriamento remoto utilizando o sensor Landsat OLI/TIRS e imagens contidas em um arquivo com resolução espacial de 30 m onde foram obtidas do United States Geological Survey (USGS) através do portal Earth Explorer. Dessa forma a cidade foi subdividida em diferentes Zonas Climáticas Locais (LCZ) de acordo com Stewart e Oke (2012).	Os resultados mostraram que LCZ 3 e LCZ 6 possuem uma cobertura de superfície impermeável acima de 50%, onde houve as maiores intensidades de fluxo de calor sensível, enquanto outras zonas com menor porcentagem de cobertura de superfície impermeável, como a LCZ 6c e 9 demonstraram menores intensidades de fluxo de calor sensível.

CONTINUA

<b>Autor (Ano)</b>	<b>Cidade (País)</b>	<b>Classif. de Köppen</b>	<b>Método</b>	<b>Principais Resultados</b>
Pacifici, Rama e Marins (2019)	São Paulo (Brasil)	Cfa	Baseada na metodologia WUDAPT. O mapa utilizado teve abordagem baseada em GIS.	Foi encontrado grande prevalência de LCZ compacta (LCZ 3) e aberta de baixo crescimento (LCZ 6), além da baixa presença de LCZ 1 e LCZ 4. Os resultados mostraram diferentes graus de variabilidade da temperatura em espaços urbanos ao ar livre.
Pokhrel, Ramírez-Beltran e González (2019)	San Juan (Estados Unidos)	Af	A classificação foi baseada na metodologia WUDAPT.	Como resultado foi percebido que os edifícios compactos baixos e compactos representa mais de 90% da demanda total, enquanto os grandes edifícios baixos, esparsamente construídos e abertos são de apenas 3%.
Mughal Li e Norford (2020)	Singapura (Malásia)	Af	Seguindo a metodologia WUDAPT e o uso de imagens Landsat 8, além de dados de altura de construção de alta resolução.	As simulações realizadas no estudo mostraram que a intensidade de ilhas de calor da camada do dossel em Singapura atingiu cerca de 5 °C em áreas compactas durante a noite e que a implantação de telhados frios em escala urbana proporciona uma redução geral de 1,3 °C na temperatura do ar durante o dia próximo à superfície em grandes áreas baixas.
Kotharkar, Bagade e Singh (2020)	Nagpur (Índia)	Aw	Baseado no estudo de Kotharkar e Bagade (2018b) que definiu as LCZ segundo a metodologia de Stewart e Oke (2012), os autores para refinar as LCZs utilizaram os softwares ArcGIS, o Google Earth Pro e o AutoCAD e ao finalizar o mapeamento foram feitos levantamentos fotográficos nos locais para a coleta de dados e validação do mapa.	As LCZs de Nagpur utilizadas pelos autores foram classificadas por Kotharkar e Bagade (2018b). Os resultados de Kotharkar, Bagade e Singh (2020) mostraram que na LCZ 3 houve redução na temperatura do ar durante o dia e uma queda considerável de 0,4°C no período noturno devido ao aumento do número de árvores
Thomas Soosen e Zachariah (2020)	Kochi (Índia)	Am	As zonas climáticas locais foram classificadas com base em medições, com a ajuda de imagens do Google e mapas topográficos.	Os autores posteriormente elaboraram travessias móveis durante o inverno e verão de 2019 para encontrar a intensidade e variação espacial de ilhas de calor urbano nessas Zonas Climáticas Locais, encontrando que a maior intensidade de ilha de calor urbano observada na cidade foi de 5,3 °C e 4,3 °C durante a manhã de inverno e verão, respectivamente, e a intensidade máxima de ilha de calor urbano foi observada em ambas as estações durante o final da noite, na ordem de 3,3 °C.
Das e Das (2020)	Bengala (Índia)	Aw	As LCZs foram encontradas a partir de imagens do Google Earth e pesquisa de campo.	A partir do resultado, foi registrado que a temperatura máxima foi registrada em LCZs de tipos construídos, particularmente em LCZ 3, LCZ 6 e LCZ 9 respectivamente.

CONTINUA

Autor (Ano)	Cidade (País)	Classif. de Köppen	Método	Principais Resultados
Kotharkar, Gosh e Kotharkar (2021)	Nagpur (Índia)	Aw	Baseado no estudo de Kotharkar e Bagade (2018b) que definiu as LCZ segundo a metodologia de Stewart e Oke (2012), os autores para refinar as LCZs utilizaram os softwares ArcGIS, o Google Earth Pro e o AutoCAD e ao finalizar o mapeamento foram feitos levantamentos fotográficos nos locais para a coleta de dados e validação do mapa.	Os resultados mostraram que a intensidade de ilhas de calor dentro das LCZs tipo construída variaram de 1,76 °C a 4,09 °C no inverno. Já as LCZs do tipo compactas de baixo crescimento foram consideradas mais quentes. (KOTHARKAR E BAGADE, 2018).
Huang et al. (2021)	Delta do Rio dos Pérolas (China)	-	As LCZ foram classificadas seguindo as diretrizes do World Urban Database e Ferramentas do Portal (WUDAPT). Os autores aplicaram a metodologia proposta de integração de mapeamento LCZ e modelagem LCLUC para simular mudanças na área metropolitana do Delta do Rio das Pérolas (PRD) no sul da China de 2009 a 2014.	Como resultado os autores alcançaram precisões nas classificações em terrenos urbanos de alto (84%) e baixo (82%) porte, enquanto terrenos de médio porte (40%) apresentaram um desempenho relativamente ruim.
Dutta, Basu e Agrawal (2021)	Nova Delhi (Índia)	Bsh	As LCZ foram obtidas pelo processamento de imagens de satélite Landsat 8.	Além disso a variação da temperatura da superfície dentro das LCZs refletiu um aumento significativo da temperatura em certos bolsões urbanos e ao longo de uma distância de 12 km que continha vegetação até edificações densas baixas foi percebido um aumento de temperatura de 8,76 °C a noite.
Gál et al. (2021)	Bacia dos Cárpatos	Cfb	Foi baseada no WUDAPT e imagens Landsat de diferentes datas.	Foi percebido que o padrão de valores mais elevados de TNs se estendeu para estrutura compacta da LCZ 3, além dos altos valores resultantes da LCZ 8.
Kabano, Lindley e Harris (2021)	Kampala (África)	Af	A classificação de LCZ foi baseada em Stewart e Oke (2012), as quais foram caracterizadas a partir do uso de imagens do US Geological Survey Earth Explorer, Landsat 8 OLI.	Assim, foi identificado que a abundância de vegetação (EVI médio) deu diferenças significativas entre as LCZs. As LCZ 9 e LCZ 6 tiveram valores de EVI 17% e 34% menores, respectivamente, do que na LCZ B. LCZ 3 <sub>F</sub> registrou o EVI geral mais baixo em 47% menor que LCZ B.
Walle et al. (2021)	Kampala (África)	Af	Utilizaram parâmetros detalhados de dossel urbano universais (UCPs) com UCPs derivadas de campos específicos do local para a cidade.	Os autores classificaram as LCZs em 2, 3, 5, 6, 7 e 8, e devido à grande fração de vegetação na área de periferia da cidade notou-se reduções de temperaturas, principalmente no período da manhã.

CONTINUA

<b>Autor (Ano)</b>	<b>Cidade (País)</b>	<b>Classif. de Köppen</b>	<b>Método</b>	<b>Principais Resultados</b>
Eldesoky, Gil e Pont (2021)	86 cidades	-	Uso de imagens do Landsat 7 e Landsat 8 disponíveis na nuvem do Google a qual foram utilizadas para calcular o LST e o NDVI.	Seus resultados mostraram que os tipos de LCZ na região de clima árido têm maior variabilidade em comparação com todas as outras regiões macro climáticas, onde o IQR (intervalo interquartil) é 4 °C ou mais, com um extremo em LCZ 3 de cerca de 13 °C.
Pereira, Masiero e Bourscheidt (2021)	Santos (Brasil)	Af	O mapa de LCZs foram produzidos de acordo com a metodologia WUDAPT, além de terem sido baseados em três cenas diurnas do LANDSAT 8 em áreas de treinamento selecionadas no Google Earth, e no algoritmo para classificação LCZ dentro da versão SAGA 6.4 onde a resolução espacial do mapa LCZ foi de 100 m.	Os autores tiveram como resultado que a LCZ 1 foi cerca de 4 °C (temperatura do ar) inferior a LCZ 3 na estação mais quente e a condição térmica variou muito dentro da LCZ 1 devido à verticalização das edificações e escassez da vegetação.
Du et al. (2022)	Hong Kong (China)	Cfa	Foram integrados os mapas de LCZ ao qual foram classificados através da metodologia WUDAPT.	Os resultados indicaram que a criação de um mapa de índice de calor em escala de bairro de alta resolução (333 m) sobre Hong Kong, pode fornecer referências significativas de saúde pública para residentes locais e planejadores do governo. O mapa mostrou que a UMI pode aumentar significativamente a temperatura equivalente percebida pelo homem, com maior intensidade ao longo do dia em regiões costeiras de baixa densidade (LCZ 5, 8 e 10), em 5,39 °C devido a maior intensidade de UMI, enquanto nas LCZs 1 e 2 a temperatura aumentou em 6,56 °C.
Ribeiro et al. (2022)	Sacramento (Brasil)	Aw	O mapa de LCZs foi baseado em avaliações de campo e imagens de satélite e do Google Earth. Além da metodologia de Stewart e Oke (2012).	Como resultados foram encontradas as seguintes LCZs: 3, 6, 7, A, B, D, G, 3 <sub>B</sub> , 3 <sub>D</sub> e 8 <sub>D</sub> .
Li et al. (2022)	Província de Yunnan (China)	-	A classificação foi baseada na metodologia WUDAPT.	Os resultados mostraram que o clima desempenhou um papel fundamental na variação do LST em cada ZLC. No verão, as LCZs C e F (em Yuanjiang e Zhaotong) atingiram a maior LST. Nas outras cidades, as LCZs 8 e 10 obtiveram a maior LST, seguidas pelas LCZs 2, 3 e F. Um resultado bastante interessante foi observado que as LCZs G tenderam a obter o maior LST em Shangri-La no inverno
Luo et al. (2023)	Guangzhou (China)	Cfa	As LCZs foram classificadas conforme definido por Stewart e Oke (2012).	Os resultados consistiram em três tipos de LCZs compactos (LCZ 1, LCZ 2 e LCZ 3) e dois tipos abertos (LCZ 4 e LCZ 5), além de LCZs com características rurais (LCZ A, C e D). Além disso foi encontrado que a temperatura média da LCZ 1 foi de 0,4 °C inferior a LCZ 2 e 3.

Fonte: Elaboração própria (2023)

Por fim, a etapa de revisão de literatura permitiu conhecer quais procedimentos utilizados para a classificação de Zonas Climáticas Locais, assim como identificar os principais resultados obtidos até o momento por esses estudos em climas tropicais.

Com relação aos procedimentos realizados nesta revisão observou-se a utilização do método de classificação dos mapas de LCZ através da metodologia WUDAPT (ELDESOKY, GIL E PONT, 2021; DU ET AL., 2022; PERERA E EMMANUEL, 2016; CAI ET AL., 2017; HUANG ET AL., 2019 & PACIFICI, RAMA E MARINS, 2019), com a exceção do estudo de Ren et al. (2019) onde o WUDAPT foi inadequado para distinguir classes das edificações relacionadas à altura. Ademais outros estudos que além do WUDAPT utilizaram outros métodos para auxiliar na classificação como a utilização de imagens de Landsat (GÁL ET AL. (2021) e também dados de altura de construção de alta resolução (MUGHAL et al., 2019; MUGHAL, LI E NORFORD, 2020).

Lau, Chung e Ren (2019) utilizaram o WUDAPT e imagens a partir de sensoriamento remoto, foram realizadas medições in loco, além de cálculos baseados em sistemas e informações geográficas (GIS). Ademais, estudos como o de Pereira, Masiero e Bourscheidt (2021); Dutta, Basu e Agrawal (2021) e Skarbit et al. (2017) utilizaram na classificação de LCZs imagens LANDSAT 8, áreas de treinamento selecionadas no Google Earth, e usaram do sistema SAGA (System for Automated Geoscientific Analyzes) – GIS. O trabalho de Geletič et al. (2019) além de ter as LCZs classificadas utilizando uma abordagem baseada no GIS (Baseado nas propriedades físicas mensuráveis do ambiente e em um algoritmo de tomada de decisão claramente definido) foram utilizados parâmetros como a fração da superfície edificada, fração da superfície permeável, fração da superfície impermeável, altura dos elementos de rugosidade e relação H/W).

Outros trabalhos fizeram o uso de imagens do US Geological Survey Earth Explorer, Operational Land Imager (OLI) e do satélite GeoEye-1 pela plataforma ArcGiS, além também da metodologia de Stewart e Oke (2012) (CARDOSO E AMORIM, 2018; DARAMOLA E BOLOGUN, 2019; WALLE ET AL., 2021; KABANO, LINDLEY E HARRIS, 2021 & WANG ET AL., 2019). Thomas Soosen e Zachariah (2020) utilizou medições in loco e imagens do Google e mapas topográficos, enquanto o trabalho de Morris et al. (2015) deu destaque para a classificação definindo áreas a partir de 0,1-10 km baseado nos estudos de Oke (1988) e Stewart et al. (2014).

Os estudos de Kotharkar, Bagade e Ramesh (2019), Kotharkar, Bagade e Singh (2020) e Kotharkar, Gosh e Kotharkar (2021) utilizaram a classificação feita por Kotharkar e Bagade (2018b) que utilizaram mapas LULC e também imagens de satélite do Google Earth Pro. Além de imagens processadas de Landsat conjuntos de dados secundários foram inseridos para identificar as LCZs. Em seguida foi incluído um mapa cadastral e detalhes da altura do piso, tipo de materiais de telhado, paredes e um mapa de favelas da cidade. Nesta classificação os autores utilizaram imagens de satélite posicionadas sobre as grades no ArcGIS e os parâmetros de fração de superfície edificada, altura de rugosidade, proporção de aspecto e cobertura vegetal foram extraídos usando o processamento GIS. As classes de LCZ foram definidas segundo Stewart e Oke (2012), os autores para refinar as LCZs utilizaram os softwares ArcGIS, o Google Earth Pro e o AutoCAD e ao finalizar o mapeamento foram feitos levantamentos fotográficos nos locais para a coleta de dados e validação do mapa.

Dentre os trabalhos citados anteriormente, percebeu-se que alguns utilizaram metodologias semelhantes para sua classificação, os destaques foram o uso da plataforma WUDAPT e o uso de imagens do Google Earth e do satélite LANDSAT. A busca de artigos na Revisão de Literatura nas plataformas *Scopus* e *Web of Science* mostraram que o estudo de clima urbano a partir da classificação pelo método de LCZs tem sido realizado em diferentes cidades, sendo as cidades asiáticas com maior número de trabalhos levantados. A partir das análises dos artigos obtidos, verificou que o WUDAPT tem sido o procedimento metodológico para classificação de LCZ mais recorrente. Entretanto, Ren et al. (2019) destacou que o método padrão WUDAPT, por si só, não era suficiente para geração de mapas devido à grande falta de dados de altura das construções, sendo essa uma limitação do procedimento de classificação.

Além disso, observou-se em estudos que as intensidades de ilhas de calor dentro de LCZs 1 tiveram variações de temperatura no período de inverno enquanto as LCZs 3 foram consideradas mais quentes. Outro resultado encontrado é que houve reduções de temperatura do ar durante o dia em algumas LCZs devido a vegetação existente no entorno, o que reforçou que a abundância de vegetação provoca variações na temperatura ao compararmos LCZs com e sem áreas vegetadas, confirmando que a diferença de temperatura possui relação direta com a presença de vegetação.

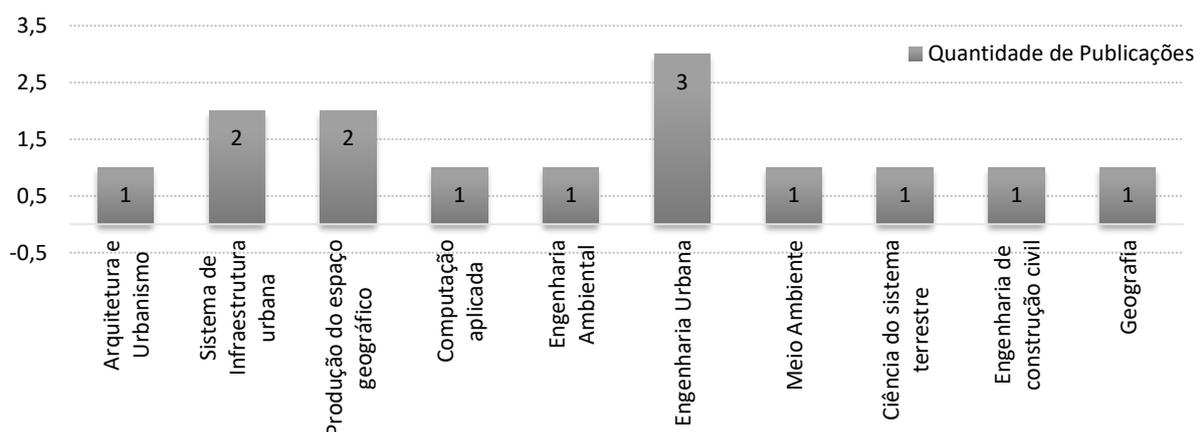
De acordo com o conteúdo apresentado nesta seção, é possível concluir que os estudos com aplicação do método de LCZ em cidades tropicais vem crescendo. Entretanto, ainda há muito o que ser estudado. A próxima sessão retrata sobre essa aplicação em cidades brasileiras.

### 3.2 Estudos sobre o método de classificação de zonas climáticas locais em cidades brasileiras

O método de classificação em LCZ também tem sido aplicado em pesquisas sobre o clima urbano de diversas cidades brasileiras. A partir de levantamento bibliográfico na Biblioteca de Teses e Dissertações, foram encontrados 14 trabalhos acadêmicos, sendo 4 teses e 10 dissertações, defendidas entre 2015 e 2022.

Os trabalhos foram classificados por área temática, conforme Figura 4. Observa-se uma diversidade de áreas temáticas com aplicação do método, sendo elas: Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Urbana, Engenharia Ambiental, Produção do espaço geográfico, Geografia, Computação Aplicada, Sistema de Infraestrutura Urbana, Meio Ambiente, Engenharia de Construção Civil e Urbana, e Ciência do Sistema Terrestre.

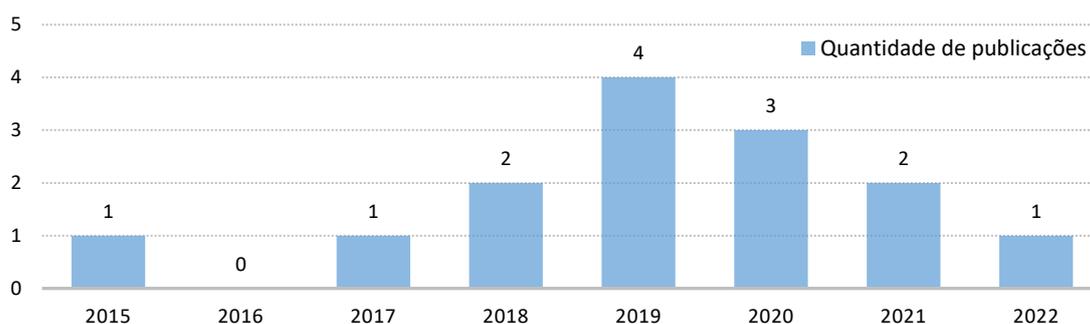
**Figura 4** - Quantidade de publicações por área temática



Fonte: Elaboração própria (2022)

Em relação ao ano de publicação, notou-se crescimento a partir de 2018 (Figura 5). Considerando que a apresentação do método por Stewart & Oke (2012) ocorreu há menos de 10 anos, este resultado pode sugerir uma tendência de adoção desse método em trabalhos de clima urbano em cidades brasileiras.

**Figura 5** - Quantidade de publicações por ano



Fonte: Elaboração própria (2023)

Embora os trabalhos selecionados tenham tomado como base o método de classificação proposto por Stewart e Oke (2012) e também por Stewart (2011), observou-se que os procedimentos metodológicos adotados para classificação das LCZs foram distintos, dentre os quais podemos destacar o uso da ferramenta WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) como o trabalho de Pacifici (2019) que abordou o tema, mas fez referência ao estudo de Bechtel et al. (2015) que utilizaram a metodologia WUDAPT para classificar as LCZs na cidade de São Paulo. Outros estudos utilizaram, além do WUDAPT, imagens de satélites e do aplicativo Google Earth, Google “Street View”, o uso de amostras e levantamentos, além de imagens supervisionadas do satélite Landsat 8, o uso do *software* SAGA GIS, além da realização da classificação mais detalhada com imagens obtidas com o RAPIDEYE5, (DORIGON, 2019; CARVALHO, 2019, FERREIRA, 2020, MEDEIROS SOBRINHO 2021). Em contrapartida o estudo realizado por Cardoso (2015), foi necessário o auxílio da imagem GeoEye-1, além da utilização da técnica de interpretação visual no aplicativo ArcGIS.

Em Simões (2017), o método para a coleta dos dados foi a criação de um protótipo, enquanto em Fernandes (2019) foi utilizado como parâmetros para o método de classificação das LCZs a porcentagem de área permeável, a porcentagem de área impermeável e a porcentagem de área construída através de imagens de satélite, da utilização do software AutoCAD e da confirmação em campo, além da utilização do Fator de Visão do Céu (FVC) obtido através de Fotografia com lente olho de peixe tratada no *software* Rayman. Na pesquisa de Soeira (2018), os parâmetros morfológicos foram obtidos por meio do geoprocessamento de dados fornecidos pela Prefeitura local e por coleta de dados *in loco*, enquanto Silva (2020) usou o método de classificação das LCZs a partir dos levantamentos *in loco* e da observação de imagens de satélite.

De acordo com Megda (2020), as variáveis mais relevantes para a classificação das LCZs para sua pesquisa foram a relação H/W com altura média da rugosidade<sup>9</sup> e porcentagem de superfície edificada. Os valores de FVC foram somados aos dados. Segundo Monteiro (2018) os parâmetros escolhidos foram o FVC (por meio da fotografia Lente olho de peixe), a relação H/W, fração de superfície edificada, superfície impermeável e permeável (por meio de mapas e do Google Earth Pro), a alturas dos elementos de rugosidade e a classe de rugosidade do terreno (através de pesquisa de campo, do Google Earth Pro).

---

<sup>9</sup> Este parâmetro é calculado pela média geométrica de alturas dos elementos de rugosidade (metros), considerando altura dos edifícios, árvores e plantas.

Coury (2021), adotou a metodologia proposta por Stewart e Oke (2012) para a análise das condições climáticas locais. Essa abordagem considerou diversos parâmetros, incluindo o Fator de Visão do Céu (FVC), a relação entre altura e largura das edificações (Relação H/W) e a altura média das edificações. Além disso, foram levadas em conta as frações de superfície permeáveis e impermeáveis presentes na paisagem urbana.

Para a definição das áreas de estudo ao redor dos sensores selecionados, o autor utilizou critérios baseados na própria paisagem urbana. Nesse processo, foram criados recortes espaciais com o auxílio de imagens de satélite e mapas municipais, permitindo uma delimitação precisa de cada ambiente específico analisado. Além disso, observações empíricas foram realizadas por meio do software ArcGIS, agregando informações detalhadas sobre as características e configuração de cada área.

No estudo conduzido por Melo (2022), a metodologia desenvolvida por Stewart e Oke (2012) foi aplicada com o objetivo de criar duas classificações da área urbana do Distrito Federal. Através da reclassificação dos dados de cobertura do solo de 2019, um mapa com a tipologia da cobertura do solo foi produzido. A classificação foi realizada utilizando imagens do satélite Sentinel 2 pela Codeplan<sup>10</sup> e disponibilizada no GeoPortal/DF<sup>11</sup>. Inicialmente, os dados originais possuíam 4 classes de cobertura, mas após a reclassificação, de acordo com Stewart e Oke (2012), foram obtidas sete classes.

O autor teve acesso às imagens de satélite e utilizou o software de geoprocessamento Google Earth Engine<sup>12</sup>, juntamente com o Qgis<sup>13</sup> 3.10, para realizar as classificações. Posteriormente, as imagens resultantes foram convertidas para o formato vetorial, compatível com Shapefile<sup>14</sup>. Em seguida, foi realizada a identificação da volumetria das edificações, a fim de enquadrá-las nas tipologias propostas por Stewart e Oke (2012).

Para melhor compreender os aspectos comuns aos quatorze trabalhos selecionados, foi elaborada uma nuvem de palavras a partir dos títulos, resumos e palavras-chave por meio do aplicativo *on-line* WordArt (Figura 6). Entre as palavras mais citadas, podemos destacar as que compõem os termos “ilhas de calor urbano” e “temperatura do ar”, evidenciando que os trabalhos selecionados buscavam a análise térmica microclimática vinculada à classificação das

---

<sup>10</sup> Companhia de Planejamento do Distrito Federal.

<sup>11</sup> É um mapa digital e dinâmico, composto por fotografias aéreas de todo o território do Distrito Federal.

<sup>12</sup> É uma plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, que permite aos usuários visualizar e analisar imagens de satélite do nosso planeta.

<sup>13</sup> QGIS é um software livre com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georeferenciados.

<sup>14</sup> É um formato popular de arquivo contendo dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas também conhecidos como SIG.



**Quadro 6** - Síntese das dissertações e teses analisadas, em ordem cronológica

<b>Autor (ano)</b>	<b>Cidade</b>	<b>Classificação de Köppen</b>	<b>Área de conhecimento</b>	<b>Tipo de trabalho</b>	<b>Principais resultados</b>
Cardoso (2015)	Presidente Prudente-SP	Cfa	Produção do Espaço Geográfico	Dissertação	As classes de LCZs apresentaram forte correlação com as temperaturas do ar registradas durante os transectos móveis, possibilitando a seleção das unidades que melhor representam o campo térmico da cidade.
Simões (2017)	Feira de Santana-BA	Aw	Computação Aplicada	Dissertação	A classe que melhor representou Feira de Santana foi a compacta de baixa elevação (LCZ 3) avaliada em 40% dos locais que foram classificados, seguido pela LCZ C e 6 com 20% cada.
Soeira (2018)	Campinas-SP	Cfa	Sistemas de Infraestrutura Urbana	Dissertação	As LCZs com arranjo compacto e de verticalização média à alta apontaram temperaturas maiores do que as LCZs de arranjo compacto e verticalização baixa a média (0,5°C).
Monteiro (2018)	Campinas-SP	Cfa	Sistemas de Infraestrutura Urbana	Dissertação	Os resultados mostraram que a morfologia urbana com FVC elevado e classes de rugosidade muito irregulares proporcionaram ganho de calor e perda de umidade do ar de forma mais expressiva durante o período de aquecimento, assim como maior perda de calor no período de resfriamento.
Dorigon (2019)	Jundiaí- SP	Cfa	Produção do Espaço Geográfico	Tese	A maior expressão das ilhas de calor esteve conectada com uma sequência de estabilidade atmosférica e que as temperaturas mais intensas estiveram relacionadas com LCZs características de áreas urbanas.
Fernandes (2019)	São Carlos-SP	Cfa	Engenharia Urbana	Dissertação	Os resultados indicaram que, apesar do sistema de classificação das zonas climáticas locais pretenderem simplificar a caracterização de áreas, a ausência de um banco de dados que possua informações sobre os parâmetros prejudica esse processo. De maneira geral, observou-se que regiões com menor taxa de impermeabilidade, abundância de vegetação e arborização conseguiram oferecer melhores condições de conforto térmico.

CONTINUA

<b>Autor (ano)</b>	<b>Cidade</b>	<b>Classificação de Köppen</b>	<b>Área de conhecimento</b>	<b>Tipo de trabalho</b>	<b>Principais resultados</b>
Pacifici (2019)	São Paulo - SP	Cfb	Engenharia de Construção Civil e Urbana	Tese	Os resultados das simulações destacaram que o sombreamento dos arranha-céus induz diferentes microclimas nos espaços ao ar livre e que áreas compactas de baixo crescimento são altamente afetadas por altas temperaturas.
Carvalho (2019)	Belo Horizonte - MG	Aw	Meio Ambiente	Dissertação	Os resultados obtidos pela simulação evidenciaram aumento de temperatura nas áreas recém-urbanizadas, sendo observado principalmente no período noturno, já nas áreas verticalizadas ou em processo de verticalização as tendências de elevação foram constatadas durante o dia.
Megda (2020)	Franca-SP	Aw	Engenharia Urbana	Tese	Os cânions com maior relação H/W aumentam a velocidade do vento e o sombreamento das edificações, melhorando o conforto térmico ao nível do pedestre.
Silva (2020)	Brasília-DF	Aw	Arquitetura e Urbanismo	Dissertação	Foram classificadas 12 LCZs, de forma que a autora percebeu que o acréscimo de vegetação intraurbana proporcionou a melhora do conforto térmico em quatro LCZs no período da tarde e três LCZs no período diurno que apresentaram melhorias quanto à sensação de desconforto. No período da noite, quatro LCZs apresentaram melhora em relação ao conforto.
Ferreira (2020)	São José dos Campos-SP	Cfa	Ciência do Sistema Terrestre	Tese	As tipologias construtivas observadas no CL1_TS (pontos quentes), foram: LCZ 8 (edificações esparsas) e LCZ 3 (edificações compactas). Já na CL2_TS as tipologias observadas foram as LCZs identificadas como LCZ 4 (edificações verticais, com vegetação); LCZ 6 (edificações de pequeno porte, com vegetação) e LCZ A (vegetação densa).
Medeiros Sobrinho (2021)	Londrina-Paraná	Cfa	Engenharia Ambiental	Dissertação	Em geral a utilização das LCZs melhorou o desempenho do modelo em representar as variáveis meteorológicas e as áreas verdes apresentaram benefícios para o clima local mesmo em cidades como Londrina.

CONTINUA

<b>Autor (ano)</b>	<b>Cidade</b>	<b>Classificação de Köppen</b>	<b>Área de conhecimento</b>	<b>Tipo de trabalho</b>	<b>Principais resultados</b>
Coury (2021)	Piracicaba - SP	Aw	Engenharia Urbana	Dissertação	Ao todo, foram identificados sete tipos de classes (Zonas Morfoclimáticas Locais – ZMCLs), designadas como 3, 5, 6, 8, 2 <sub>3</sub> , F e C. É importante ressaltar que os sensores instalados nas áreas centrais da cidade, que correspondem às LCZs 8 e 3, apresentaram as maiores Ilhas de Calor Urbano (ICUs), chegando a quase 5 °C.
Melo (2022)	Brasília - DF	Aw	Geografia	Dissertação	Dentre as dez classes de tipologias de construção propostas por Stewart e Oke (2012), foram identificadas nove delas, com destaque para as seguintes: Espaço Aberto - Edifícios Altos, caracterizada por áreas onde predominam edifícios de grande altura; Espaço Aberto - Edifícios Baixos, encontrada em regiões administrativas com predominância de edifícios residenciais de até seis pavimentos, bem como em áreas mais recentes e com uma maior verticalização; e Maciço de Edifícios Baixos, que é predominante nas regiões administrativas periféricas ao centro do Distrito Federal.

Fonte: Elaboração própria (2023)

O trabalho pioneiro foi realizado por Cardoso (2015), na cidade de Presidente Prudente. A autora não utilizou a expressão “Zona Climática”, uma vez que esta já é consagrada para a divisão dos macroclimas da terra, optando pela nomenclatura “unidades climáticas”, com o aditivo do adjetivo “potencial”. A partir disso, elaborou um mapa com as Potencias Unidades Climáticas (PUC) em Presidente Prudente, no qual as classes das PUCs foram identificadas na malha urbana através da interpretação visual da imagem do satélite GeoEye-1. Em seguida, usando a plataforma ArcGIS, foi elaborada uma tabela de atributos associada a uma classe das LCZs propostas por Stewart (2011). Posteriormente, foi elaborado o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para delimitar as classes na área rural. Por fim, a forma de espacialização dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar foi obtida com o *software* Surfer, de modo a visualizar as ilhas de calor como um fenômeno móvel. Além desse resultado, os modelos de regressão auxiliaram na avaliação das PUCs e identificação das classes que apresentaram forte correlação com as temperaturas do ar registradas durante os transectos móveis, possibilitando a seleção das unidades que melhor representam o campo térmico da cidade.

A pesquisa realizada por Simões (2017), na cidade de Feira de Santana-BA, consistiu na coleta inicial de dados realizada a partir de, aproximadamente, 220 km percorridos no período de um mês. Para a coleta dos metadados foi criado um protótipo utilizando o controlador Arduino Uno e o sensor de temperatura e umidade DHT11 pré-calibrado de fábrica. A relação a definição da área de fonte térmica foi realizada na segunda etapa do método de classificação LCZ. Nesta etapa, o autor atribuiu o valor padrão de 200 m. Além disso, para a classificação final dos sítios, foram utilizadas imagens de satélite do Google que determinaram a proporção de área construída com a qual foram construídos dois mapas: um implementado com Google Maps Javascript API3 e outro por meio do serviço de cartografia na nuvem Google Maps4. Nessa pesquisa, também foi observado e avaliado os tipos de arborização, espaçamento, material e altura das construções, tipos de superfície, largura das ruas, atividade humana, tráfego de veículos e definição da área de fonte térmica. Por fim, entre as LCZs elegidas, a classe que melhor representou Feira de Santana, de acordo com o autor, foi a compacta de baixa elevação (LCZ 3) avaliada em 40% dos locais que foram estudados.

Na pesquisa de Soeira (2018), na cidade Campinas-SP, os parâmetros morfológicos das áreas urbanas analisadas foram obtidos por meio do geoprocessamento de dados fornecidos pela Prefeitura Local, complementados com coleta de dados *in loco*. Além disso, foram alcançadas as correlações entre o Fator de Visão do Céu (FVC) e a variação da temperatura do ar para um conjunto de Zonas Climáticas Locais. Os resultados da pesquisa mostraram que,

durante o período diurno, a elevação da temperatura do ar é mais intensa em áreas urbanizadas que possuem variado grau de adensamento e pouco sombreamento. O autor verificou também que, durante o período da tarde, existe uma uniformidade das áreas aquecidas, quando o aquecimento de áreas pouco sombreadas é diminuído enquanto o aquecimento em áreas verticalizadas aumenta.

Outro resultado obtido que merece destaque na pesquisa de Soeira (2018) é quanto à intensidade da ilha de calor. De acordo com os resultados, às 21 h, a variação na temperatura do ar foi associada a valores de FVC em distintas LCZs, enquanto, para valores de FVC abaixo de 0,45, as LCZs 3 e 23 apresentaram elevação da temperatura do ar no período noturno entre 1,5 °C e 2,2 °C, aproximadamente.

Em dois estudos foram realizadas análises preliminares das tipologias de uso e ocupação do solo e da geometria urbana. Como parâmetros de classificação das Zonas Climáticas Locais, o autor escolheu o Fator de Visão do Céu, a relação altura/ largura (H/W), a fração de superfície permeável e impermeável, a fração de superfície edificada, altura dos elementos de rugosidade e classe de rugosidade do terreno (MONTEIRO, 2018; COURY, 2021).

Monteiro (2018) utilizou para as coletas de dados de temperatura e umidade relativa do ar medições móveis e pontos de medições fixas, cuja campanha de monitoramento ocorreu na estação de inverno. Os resultados mostraram que a morfologia urbana com o FVC elevado e classes de rugosidade muito irregulares proporcionaram ganho de calor e perda de umidade do ar de forma mais expressiva durante o período de aquecimento (09:00 h às 15:00 h), assim como maior perda de calor no período de resfriamento (15:00 h às 21:00 h).

Nessa pesquisa, as áreas com cobertura de solo permeável foram bastante representativas e apresentaram uma pequena área edificada com registro de maior ganho de calor do período de resfriamento (15:00 h às 21:00 h) e maior perda de calor no período das 21:00 h às 09:00 h. A amplitude da temperatura do ar média variou entre 0,1 °C e 2,1 °C, segundo as tipologias construtivas e de cobertura do solo, sendo a maior amplitude de temperatura observada às 9:00 h, coincidindo com o período de maior aquecimento do ar.

Coury (2021) em seu estudo para a cidade de Piracicaba/ SP identificou sete tipos de LCZs, designadas como 3, 5, 6, 8, 2<sub>3</sub>, F e C. O autor ressaltou que os sensores instalados nas áreas centrais da cidade, que correspondem às LCZs 8 e 3, apresentaram as maiores Ilhas de Calor Urbano, chegando a quase 5 °C.

Dorigon (2019), em sua pesquisa na cidade de Jundiaí-SP, utilizou como método a coleta de imagens de satélites e o uso da plataforma WUDAPT. A autora fez a instalação de sensores fixos em diferentes locais da malha urbana e obteve como primeiro indício nos seus

resultados que a maior expressão das ilhas de calor esteve conectada com uma sequência de estabilidade atmosférica e que as maiores intensidades estiveram relacionadas com LCZs características de áreas urbanas: LCZ 3, LCZ 7, LCZ 3<sub>B</sub> e LCZ 3<sub>4</sub>, todas compactas, com pouca ou nenhuma vegetação. As menores intensidades foram registradas na LCZ 9, relativa à área rural, e LCZ 6, caracterizada pelas construções espaçadas, vegetação arbórea e rasteira. Ademais, foram identificadas e delimitadas áreas em que ocorreram ilhas de calor urbanas de maior intensidade e áreas consideradas como redutoras de temperatura (ART).

A pesquisa de Fernandes (2019), na cidade de São Carlos-SP, usou como parâmetros para o método de classificação das LCZs a porcentagem de área permeável, a porcentagem de área impermeável e a porcentagem de área construída através de imagens de satélite, além da utilização do *software* AutoCAD e da confirmação em campo. Também foi utilizado o FVC, obtido através de Fotografia com lente olho de peixe tratada no software Rayman. Foram analisadas a relação H/W e a altura média dos elementos através do Google Street view auxiliada com a confirmação em campo, por fim, obteve-se o parâmetro de Classe de Rugosidade Urbana que considerou a média geométrica das alturas dos elementos existentes. Os resultados indicaram que, apesar do sistema de classificação das zonas climáticas locais pretenderem simplificar a caracterização de áreas, a ausência de um banco de dados que possua informações sobre os parâmetros prejudica esse processo. De maneira geral, observou-se que regiões com menor taxa de impermeabilidade, abundância de vegetação e arborização conseguiram oferecer melhores condições de conforto térmico. Os resultados finais foram confirmados pela análise de correlação, pela qual verificaram-se que os parâmetros de altura média dos elementos, área impermeável, permeável e construída influenciam no conforto térmico dos usuários, especialmente nos horários de maiores temperaturas.

Carvalho (2019) fez uso imagens de satélite Landsat8 OLI/TIRS C1 para classificação das LCZs na região metropolitana de Belo Horizonte-MG, por meio de classificação supervisionada. Os resultados obtidos evidenciaram aumento de temperatura nas áreas recém-urbanizadas, sendo observado principalmente no período noturno, enquanto nas áreas verticalizadas ou em processo de verticalização as tendências de elevação foram constatadas principalmente durante o dia.

Megda (2020), em sua pesquisa para a cidade de Franca-SP, fez análise do clima urbano por transecto móvel a partir da coleta em solo e o uso de um VANT<sup>15</sup> para a coleta de dados de temperatura até a altura das ilhas de calor urbano. As variáveis mais relevantes para o autor na

---

<sup>15</sup> Veículo aéreo não tripulado ou “drone”.

composição da classificação das LCZs foram: relação H/W, altura média da rugosidade e superfície edificada. Além disso, imagens com a lente olho de peixe, juntamente com valores de FVC foram somadas aos dados.

Os resultados no estudo de Megda (2020) evidenciaram que os cânions com maior relação H/W aumentam a velocidade do vento e o sombreamento das edificações, melhorando o conforto térmico ao nível do pedestre, principalmente no verão. Por outro lado, o aumento nessa relação não teve efeito significativo para o conforto térmico ao nível do pedestre. Quanto às correlações entre parâmetros como o FVC e a relação H/W, destaca-se que os valores no FVC foram mais relevantes para se verificar a formação de ICUs, apesar dos valores serem considerados baixos para demonstrar influência entre os fatores físicos e a formação de ICU.

O método de classificação das LCZs utilizado por Silva (2020) na cidade de Brasília-DF considerou como parâmetros a relação H/W, a porcentagem de área edificada, área impermeável e permeável, além da altura dos elementos de rugosidade além do mapeamento dessas zonas através do portal do WUDAPT. A autora dessa forma classificou 12 Zonas Climáticas Locais, sendo cinco delas definidas como objetos do estudo por apresentarem tipologia urbana com pouca área permeável e vegetação escassa. Percebeu-se que o acréscimo de vegetação intraurbana proporcionou a melhora do conforto térmico em quatro LCZs (1, 3, 4<sub>6</sub> e 6<sub>5</sub>) no período da tarde. No período diurno, três LCZs (3, 4<sub>6</sub> e 5) apresentaram melhora em relação ao conforto, porém apenas 0,2 °C, mantendo-se confortável. A LCZ 5 apresentou ganho reduzido quanto à diminuição do PET, quando acrescida vegetação urbana nos espaços públicos, com 0,6 °C no período da tarde, enquanto a LCZ 1, apresentou a maior amenização quanto ao conforto térmico, com 7 °C para o mesmo período.

Ferreira (2020) tomou como base para a identificação das LCZs amostras e levantamentos realizados utilizando a ferramenta “Street View” do Google Earth. As amostras utilizadas para a classificação consistiram em áreas com dimensão de 240 x 240 m, que corresponderam a união de 4 células contíguas de 60 x 60 m. Estas dimensões foram adotadas para atender a unidade de escala definida para as LCZs que é a escala local. O mapeamento das LCZs foi feito com base em indicadores morfológicos e tipologias construtivas. Neste processo as LCZs foram classificadas a partir de um método semiautomático de clusters<sup>16</sup>. A tipologia de cluster CL1\_TS (pontos quentes) classificou: LCZ 8 caracterizada por ocupações esparsas com edificações extensas de médio porte com altura entre 3 e 10 m e LCZ 3 caracterizada por ocupações compactas com edificações de pequeno porte com altura entre 3 e 8 m. E a tipologia

---

16 Baseado nos valores medianos de alguns atributos (ex. altura das edificações) e na distância euclidiana.

CL2\_TS identificou LCZ 4 composta por ocupações esparsas com edificações verticais com altura maior que 25 m, intercaladas por vegetação; LCZ 6 composta por ocupações esparsas com edificações de pequeno porte com altura entre 3 e 10 m, intercaladas por vegetação; e LCZ tipo A composta por árvores densas.

O trabalho de Medeiros Sobrinho (2021) avaliou os efeitos nas variáveis atmosféricas, incluindo as classes de LCZs urbanas no uso de solo padrão para a Região Metropolitana de Londrina. Como não havia estudos disponíveis validadas pelo WUDAPT foi necessário determinar as áreas de acordo com conhecimento prévio da área de estudo sendo utilizado a técnica de classificação supervisionada de imagens do satélite Landsat 8, através dos softwares SAGA GIS e Google Earth Pro e o método do vizinho mais próximo onde há a intermediação de dados entre os pontos. Dessa forma determinaram-se as áreas por meio de polígonos que possibilitaram a identificação dos tipos de LCZs através do software Google Earth Pro e posteriormente as áreas identificadas foram exportadas para o software SAGA GIS. A partir das simulações foram identificados e ampliados cinco parques e 2 lagos urbanos em uma quarta grade aninhada com 0,333 km de espaçamento entre os pontos de grade, com o intuito de identificar os efeitos meteorológicos dos lagos no ambiente urbano. O Lago (IV) não apresentou efeito significativo nas variáveis meteorológicas, devido as suas dimensões horizontais. Os lagos que eram constituídos pelos parques (áreas verdes) contribuíram localmente na diminuição dos efeitos da Ilha de Calor Urbana (ICU) pois apresentaram taxas de resfriamento e aumento na Q2 aproximadamente 2 km, ao redor destas infraestruturas. Por fim a utilização das LCZs progrediu o desempenho do modelo em representar as variáveis meteorológicas, e as áreas verdes exibiram benefícios para o clima local mesmo em cidades de médio porte como Londrina.

Pacifici (2019) em seu trabalho explorou a relação entre variáveis morfológicas e climáticas urbanas em terrenos com adensamento e verticalização em curso. O estudo de caso foi voltado para o município de São Paulo, caracterizado por zonas de alto e baixo crescimento em desenvolvimento. A autora integrou coletas de dados de campo, análise de banco de dados e também técnicas de modelagem, abordando múltiplas escalas de análise. Dessa forma, características climáticas e morfológicas foram obtidas pelo banco de dados disponível da cidade, estações meteorológicas e LCZs que foram classificadas através do estudo de Bechtel et al (2015b) que utilizaram a metodologia WUDAPT. Modelos numéricos foram inseridos como ferramentas de interpretação de dados, códigos computacionais ENVImet e Grasshopper foram utilizados para simular a área de estudo de caso existente. Os resultados destacaram que

o sombreamento dos arranha-céus induz diferentes microclimas nos espaços ao ar livre, e que áreas compactas de baixo crescimento são altamente afetadas por altas temperaturas.

Por fim a pesquisa de Melo (2022) obteve como resultado a identificação de nove classes distintas, sendo que algumas merecem destaque especial. A primeira delas é a classe denominada "Espaço Aberto - Edifícios Altos", que caracteriza áreas onde predominam edifícios de grande altura. Essas regiões podem ser encontradas tanto em áreas urbanas consolidadas como em locais mais recentes, que apresentam uma tendência maior de verticalização. Outra classe relevante é a "Espaço Aberto - Edifícios Baixos", presente em regiões administrativas com uma predominância de edifícios residenciais de até seis pavimentos. Essa categoria também é comum em áreas mais recentes, onde há uma tendência de crescimento vertical. Por fim, destaca-se a classe denominada "Maciço de Edifícios Baixos", predominante nas regiões administrativas periféricas ao centro do Distrito Federal.

Essas classificações tipológicas baseadas em características de construção foram devidamente representadas no território, permitindo a identificação das Zonas Morfoclimáticas Locais em função das diferentes tipologias de cobertura do solo.

Os resultados encontrados nos trabalhos acadêmicos com aplicação do método de Zonas Climáticas Locais (LCZ) destacam que a aplicação do método é ainda incipiente em teses e dissertações, cujo objeto de estudo são cidades brasileiras. Os resultados evidenciaram uma diversidade de procedimentos metodológicos pelo fato de os autores serem de diferentes áreas de conhecimento.

Os principais resultados obtidos demonstram comportamentos microclimáticos diferenciados de acordo com a LCZ, sendo algumas mais propícias à elevação de temperatura e formação de ilhas de calor urbano. De maneira geral, foi observado que regiões com menor taxa de impermeabilidade, abundância de vegetação e arborização conseguiram oferecer melhores condições de conforto térmico.

O embasamento teórico apresentado foi fundamental para o alinhamento dos procedimentos metodológicos estabelecidos para a presente pesquisa.

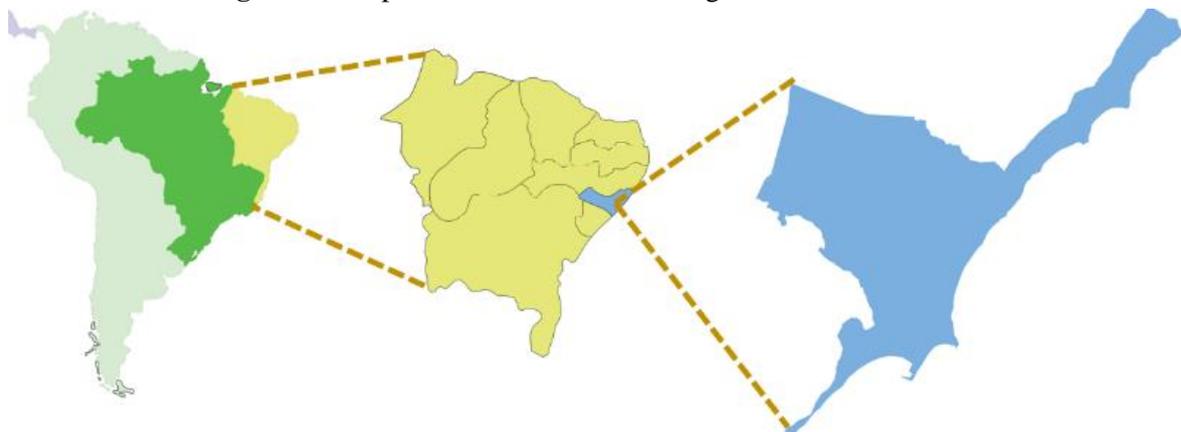
#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta as ferramentas e métodos utilizados para atingir os objetivos propostos nessa pesquisa, como: a caracterização geográfica e climática da área de estudo, a identificação e seleção dos pontos amostrais, a caracterização dos pontos amostrais, a campanha de monitoramento e o cálculo dos parâmetros morfológicos de classificação para cada LCZ.

##### 4.1 Caracterização geográfica e climática da área de estudo

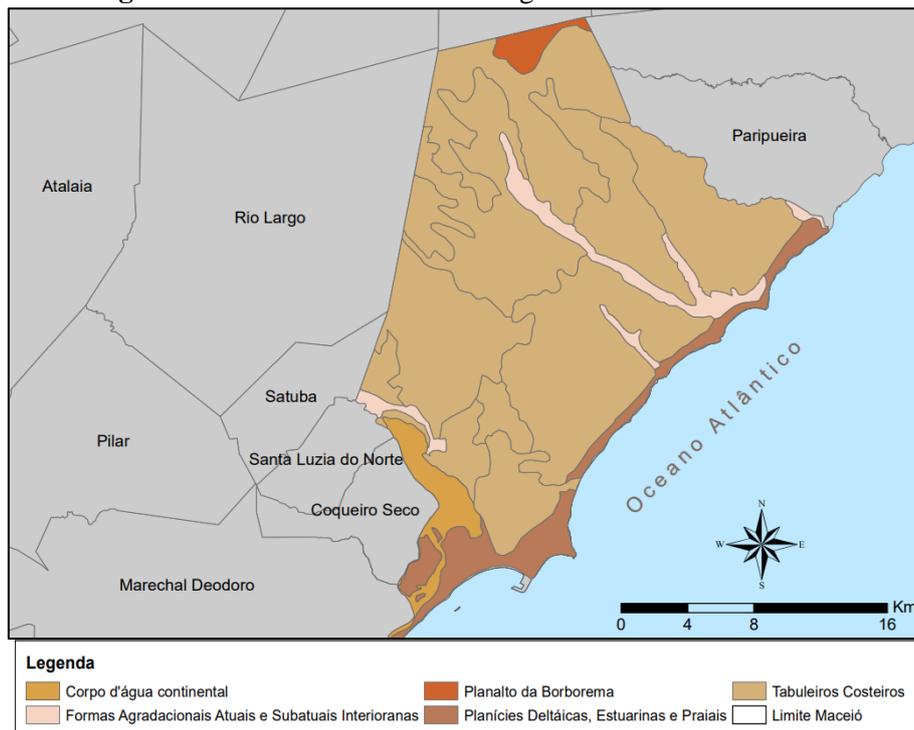
A cidade de Maceió está situada no extremo Leste do Estado de Alagoas, nas coordenadas geográficas 9°40' Sul, de latitude, e 35°44' Oeste, de longitude (Figura 7). A porção urbana ocupa área territorial de aproximadamente 509.320 km<sup>2</sup> e população estimada para o ano de 2022 é de 1.031.597 habitantes (IBGE, 2021).

**Figura 7** - Mapa do Brasil mostrando Alagoas e cidade de Maceió



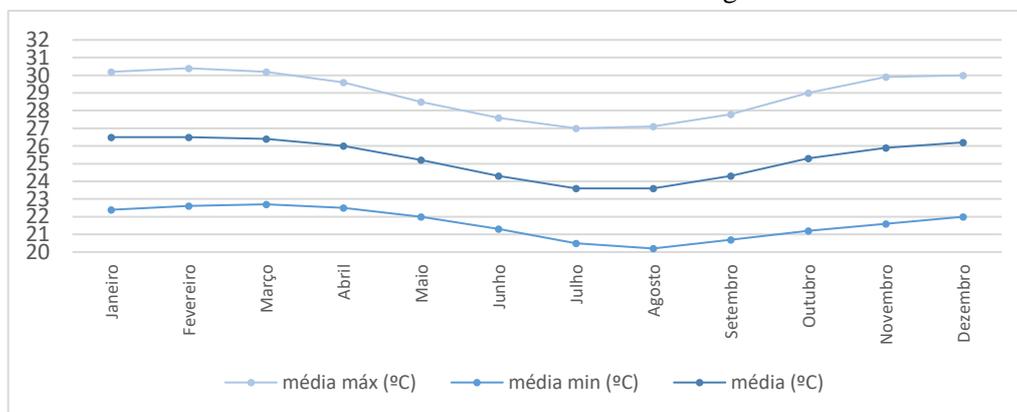
Fonte: Elaboração própria (2022)

De acordo com a classificação climática de Köppen, conforme Barbirato (1998) a cidade de Maceió caracteriza-se como tipo As (tropical litorâneo úmido). Segundo o autor Barbosa (2005), o aspecto geomorfológico da cidade de Maceió apresenta-se de três formas: (a) *Planície Litorânea e Lagunar*, (b) *Terraço do tabuleiro*, e (c) *Tabuleiros*, como é apresentado na Figura 8.

**Figura 8** - Formas de relevo e hidrografia do sítio urbano de Maceió

Fonte: Adaptado de IBGE (2023).

A análise das Normais Climatológicas de 1981-2010 (INMET, 2018) da cidade de Maceió mostra que a cidade apresenta clima quente e úmido com temperatura média anual de 24,8 °C, apresentando variação de 26,5 °C nos meses de janeiro e fevereiro (quadra seca) e 23,6 °C nos meses de julho e agosto (quadra chuvosa); com média anual das máximas de 28,9 °C, apresentando variação de 30,4 °C no mês de fevereiro (quadra seca) a 27,0 °C, no mês de julho (quadra chuvosa). A média anual das mínimas de temperatura é de 21,6 °C, variando entre 22,7 °C, no mês de março, e 20,2 °C, no mês de agosto. A Figura 9 apresenta a variação mensal da temperatura média das máximas, média das mínimas e média.

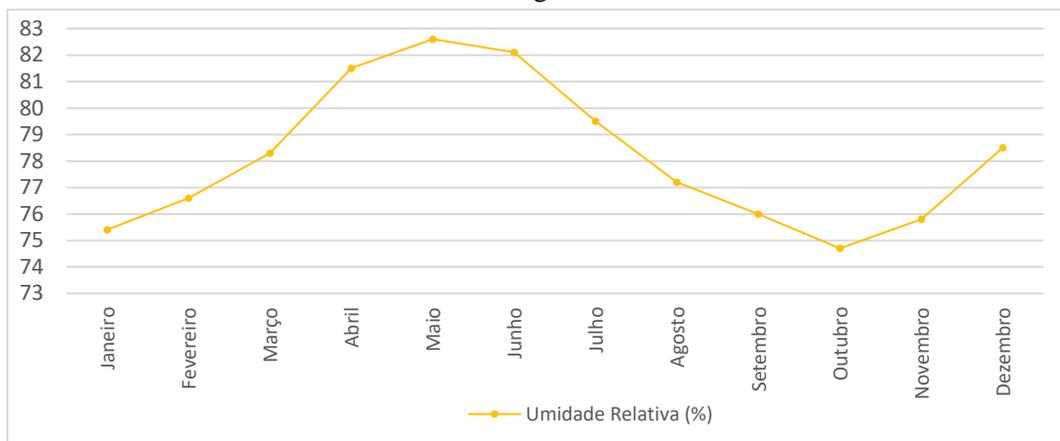
**Figura 9** - Variação mensal da temperatura média das máximas, média das mínimas e média, de acordo com as Normais Climatológicas

Fonte: Adaptado de INMET (2018).

Os índices de umidade relativa do ar revelam a alta umidade na cidade, com média

anual de 78,5%, sendo o mês de maio o de maior umidade, com 82,6% e o de menor umidade o mês de novembro 74,7%. A alta umidade na cidade se dá pela sua aproximação com o complexo lagunar Mundaú-Manguaba e o Oceano Atlântico. A Figura 10 apresenta os valores mensais de umidade relativa do ar.

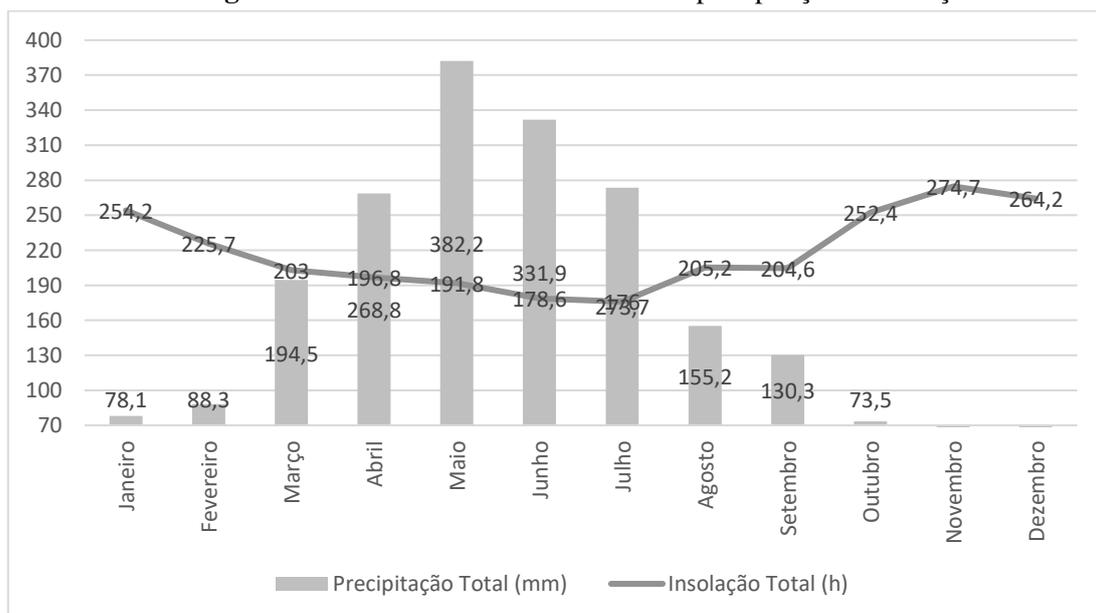
**Figura 10** - Valores mensais de umidade relativa do ar, de acordo com os dados das Normais Climatológicas de Maceió



Fonte: Adaptado de INMET (2018)

A média anual de precipitação total é de 2070,5mm, com meses mais chuvosos de abril a julho e meses mais secos de outubro a fevereiro. A média de insolação total é de 2627,2h/ano, com mês de novembro mais ensolarado (274,7h/mês) e o mês de julho com menor insolação (176,0h/mês). A Figura 11 apresenta as médias mensais dos totais de precipitação e insolação.

**Figura 11** - Médias mensais dos totais de precipitação e insolação



Fonte: Adaptado de INMET (2018)

Em relação aos ventos dominantes em Maceió nota-se que a cidade está sob

influência alternada dos ventos alísios do Sudeste, dos meses de outubro a março e os ventos do Leste nos meses de abril a setembro. A intensidade do vento anual possui valor de 3,69 m/s, chegando a valores de velocidade mínima de 2,96 m/s no mês de abril e velocidade máxima de 4,48 m/s no mês de novembro. A Tabela 2 a seguir apresenta a síntese dos dados climáticos de Maceió, registrados pelas Normais Climatológicas no período de 1981 a 2010.

**Tabela 2** - Normais Climatológicas de Maceió – período: 1981-2010

	Temperatura			Ins. Total (horas)	UR (%)	Precip. (mm)	Vento	
	méd (°C)	máx. (°C)	mín. (°C)				Intens. (m.s <sup>-1</sup> )	Direção (graus)
<b>JAN</b>	26,5	30,2	22,4	254,2	75,4	78,1	3,84	E
<b>FEV</b>	26,5	30,4	22,6	225,7	76,6	88,3	3,28	E
<b>MAR</b>	26,4	30,2	22,7	203,0	78,3	194,5	3,01	E
<b>ABR</b>	26,0	29,6	22,5	196,8	81,5	268,8	2,96	SE
<b>MAI</b>	25,2	28,5	22,0	191,8	82,6	382,2	3,09	SE
<b>JUN</b>	24,3	27,6	21,3	178,6	82,4	331,9	3,78	SE
<b>JUL</b>	23,6	27,0	20,5	176,0	82,1	273,7	3,76	SE
<b>AGO</b>	23,6	27,1	20,2	205,2	79,5	155,2	3,71	SE
<b>SET</b>	24,3	27,8	20,7	204,6	77,2	130,3	3,93	SE
<b>OUT</b>	25,3	29,0	21,2	252,4	76,0	73,5	4,32	E
<b>NOV</b>	25,9	29,9	21,6	274,7	74,7	31,7	4,48	E
<b>DEZ</b>	26,2	30,0	22,0	264,2	75,8	62,5	4,10	E

Fonte: Adaptado de INMET (2018)

#### 4.2. Identificação e seleção dos pontos amostrais

A identificação das diferentes áreas amostrais foi realizada por meio da análise da malha urbana de Maceió com imagens recentes de satélite fornecidas pelo Google Earth Pro, utilizando-se como base espaços homogêneos inseridos em um raio de 200 m, conforme proposto por Stewart e Oke (2012). Posteriormente, foram selecionados pontos de análise que fossem representativos para cada característica de LCZ. No entanto, devido à heterogeneidade da malha urbana, houve dificuldade em encontrar áreas com ocupação homogênea dentro do diâmetro mínimo recomendado pelo método. Essa dificuldade já havia sido prevista pelos autores do método.

Inicialmente foram identificadas 11 áreas na malha urbana de Maceió que pudessem ser classificadas a partir do método proposto, de acordo com o cálculo dos parâmetros utilizados

na classificação das LCZs, porém, em duas destas áreas houve problemas com o equipamento, não sendo possível extrair os dados registrados pelos dataloggers (pontos destacados em vermelho na Figura 12). Assim, neste trabalho, foram analisadas nove das áreas selecionadas como pontos amostrais, cuja localização na malha urbana de Maceió é mostrada na Figura 12.

**Figura 12** – Localização dos onze pontos amostrais na malha urbana de Maceió, sendo os pontos em vermelho correspondentes às áreas não analisadas devido a problemas no registro dos dados.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022).

Para registro dos dados higrótérmicos de cada área amostral selecionada, foi determinado o centro do raio de 200 m de cada ponto para instalação do datalogger.

#### 4.2.1. Caracterização dos pontos amostrais

As características da morfologia urbana de cada ponto amostral são detalhadas a seguir:

- **Ponto 01 (P01): Guaxuma**

Como primeiro ponto para área amostral de LCZ foi selecionada uma área com edificações residenciais unifamiliares, localizada na Rua Jarsen Costa, bairro Guaxuma, a área é costeira e com possibilidade de crescimento. A rua onde foi colocado o Ponto 01 de análise é um espaço composto de baixa densidade de construção, caracterizada como uma rua de baixo tráfego de veículos e pedestres, com vegetação existente, pavimentação asfáltica e áreas permeáveis (Figura 13). O ponto localiza-se na Zona Residencial do tipo 5 (ZR-5). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona é destinada à ocupação predominante do uso residencial com verticalização alta, até 20 pavimentos, com baixa ocupação do terreno e possibilidade de implantação de atividades comerciais, de serviços e indústrias, não sendo permitido remembramento.

**Figura 13** – Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) Guaxuma



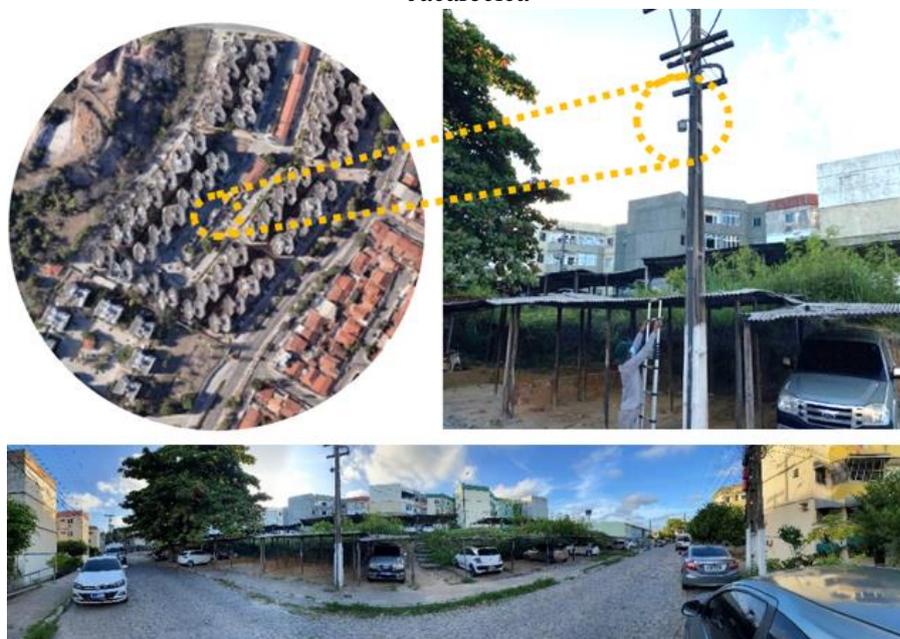
Fonte: Elaboração própria (2022).

- **Ponto 02 (P02): Jacarecica**

A segunda área amostral para classificação de LCZ foi selecionada uma área com edificações residenciais verticalizadas, com altura média de 3 a 4 pavimentos, com localização no Conjunto Residencial Jacarecica, bairro Jacarecica, a área é costeira com barreira (obstáculo

natural) e vegetações, similar ao Ponto 01. A rua onde foi colocado o Ponto 02 possui média densidade de construção, caracterizada como uma rua de médio tráfego de veículos e pessoas, com pouca vegetação existente, pavimentação em paralelepípedo e com parte de área permeável (Figura 14). O ponto localiza-se na Zona Residencial do tipo 6 (ZR-6). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona é destinada à ocupação predominante do uso residencial com a possibilidade de verticalização alta, limitada a 15 pavimentos com baixa ocupação do terreno e possibilidade de parcelamento em lotes de grandes dimensões; além da oportunidade de implantação de atividades comerciais, de serviços e industriais, bem como o exercício de atividades agrícolas.

**Figura 14** - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Jacarecica



Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 03 (P03): Ponta Grossa**

Como terceira área amostral para esta classificação de LCZ foi selecionada uma área com edificações residenciais unifamiliares localizado na Rua Santos Dumont, bairro Ponta Grossa. A rua onde foi colocado o Ponto 03 é composta por casas que variam de 1 a 2 pavimentos e possui alta densidade de construção. Caracterizada como uma rua de baixo tráfego de veículos, com pouca vegetação existente, pavimentação asfáltica e solo impermeável. (Figura 15). O ponto localiza-se na Zona Residencial do tipo 2 (ZR-2). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona é destinada à ocupação predominante do uso residencial com incentivo à verticalização alta de edificações populares e possibilidade de implantação de atividades comerciais, de serviços e industriais e o estímulo à promoção de habitação de interesse social.

**Figura 15** - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo)  
- Ponta Grossa



Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 04 (P04): Santa Amélia – Conj. Medeiros Neto**

Como quarta área amostral para classificação de LCZ foi selecionada uma área com edificações residenciais multifamiliares localizada no Conjunto Medeiros Neto, no bairro Santa Amélia. A rua onde foi colocado o Ponto 04 é composta por área predominantemente residencial com prédios de 4 pavimentos, sendo de média densidade de construção (alvenaria e anexos). Caracterizada como uma rua de médio trânsito de automotores e moderado de pessoas, com pouca arborização, pavimentação em paralelepípedo e solo impermeável. (Figura 16). O ponto localiza-se na Zona de Expansão do tipo 2 (ZE-2). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona é a área na cidade com potencial para crescimento urbano com possibilidade de verticalização alta, limitada a 20 pavimentos, atividades comerciais, de serviços e industriais, além do estímulo aos empreendimentos e estabelecimentos de incentivo à implantação de infra-estrutura e serviços urbanos.

**Figura 16** - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo)  
- Santa Amélia

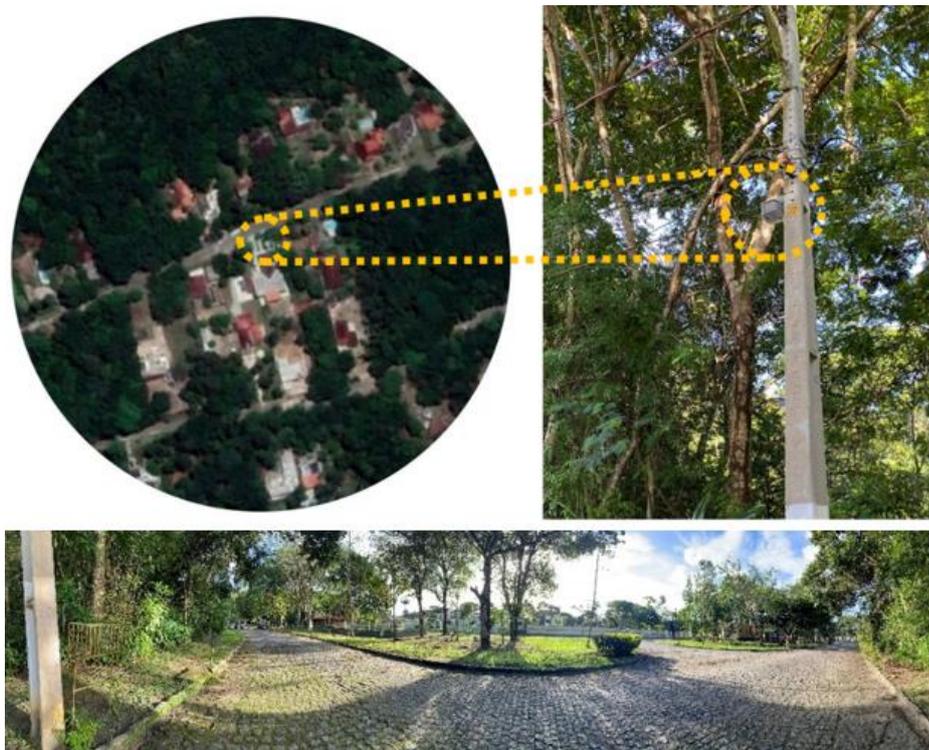


Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 05 (P05): Santa Amélia**

Como quinta área amostral para classificação de LCZ foi selecionada uma área com edificações residenciais unifamiliares, localizada na Avenida Dr. Amilton Falcão, no Condomínio Chácara da Lagoa, bairro Santa Amélia. A rua onde foi colocado o Ponto 05 é um espaço composto por residências unifamiliares, com baixa densidade de construção, caracterizada como uma rua de baixo tráfego de veículos e pedestre, cercada por vegetações, pavimentação asfáltica em paralelepípedo e áreas permeáveis (Figura 17). O ponto localiza-se na Zona de Expansão do tipo 2 (ZE-2). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona possui potencial para crescimento urbano com verticalização alta, limitada a 20 pavimentos com possibilidade de atividades comerciais, de serviços e industriais, além de estímulo aos estabelecimentos de incentivo à implantação de infra-estrutura, serviços urbanos e empreendimentos.

**Figura 17** - Ponto de coleta de dados e fotografia panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo)  
– Santa Amélia



Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 06 (P06): Tabuleiro dos Martins**

Como sexta área amostral para esta classificação de LCZ foi selecionada uma área com edificações comerciais, em sua maioria, localizada na Avenida Governador Luís Cavalcante, bairro Tabuleiro dos Martins. A rua onde foi colocado o Ponto 06 é uma área composta por indústrias, sendo de alta densidade de construção. Caracterizada como uma rua de alto tráfego de veículos, com pouca vegetação existente, pavimentação asfáltica e pouca área permeável (Figura 18). O ponto localiza-se na Zona Industrial de Maceió (ZI). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona é destinada exclusivamente ao uso industrial, podendo ser implantadas atividades industriais compatíveis com a imediação de áreas do uso residencial em seu entorno.

**Figura 18** - Ponto de coleta de dados e panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Tabuleiro dos Martins

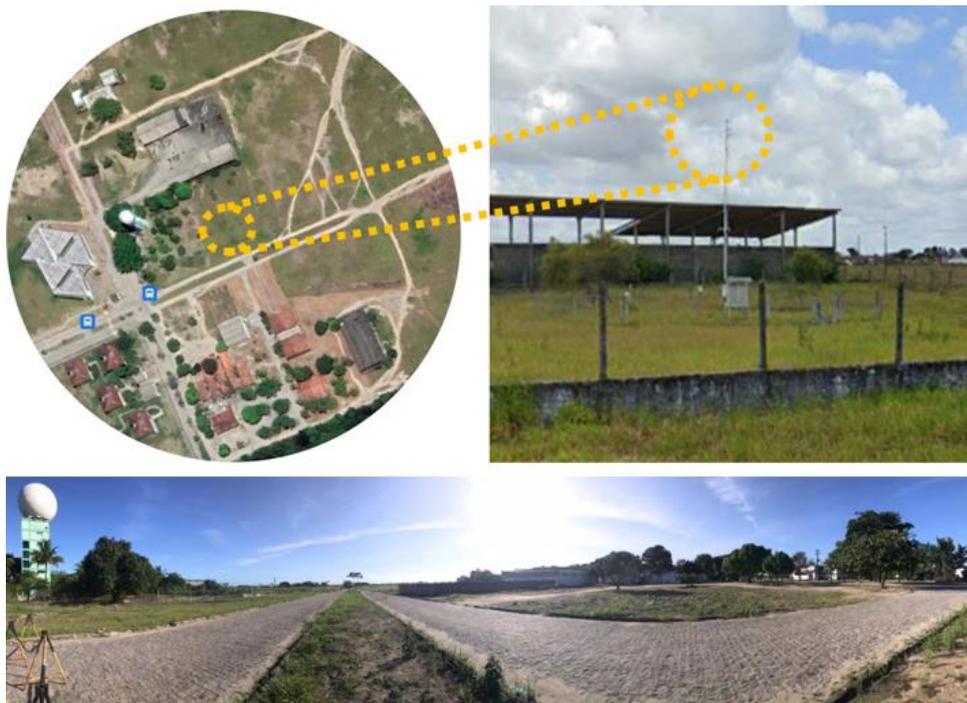


Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 07 (P07): Estação da UFAL (INMET)**

Como sétima área amostral para classificação de LCZ foi selecionada uma área com poucas edificações, localizada no Campos da UFAL, bairro Cidade Universitária. A rua onde fica localizada a estação é uma área composta por poucas edificações e predomínio de terrenos desocupados, sendo de baixa densidade de construção. Caracterizada como uma rua de baixo tráfego de veículos e pedestres, com vegetação existente, pavimentação em paralelepípedo e áreas permeáveis (Figura 19). O ponto localiza-se na Zona de Expansão do tipo 1 (ZE-1). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona permite a verticalização alta, atividades comerciais, de serviços e industriais, além do estímulo aos empreendimentos e estabelecimentos de incentivo à implantação de infra-estrutura e serviços urbanos.

**Figura 19** - Ponto de coleta de dados e panorâmica do ponto analisado - Estação da UFAL (INMET)



Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 08 (P08): Benedito Bentes**

Como oitava área amostral para classificação de LCZ foi selecionada uma área com edificações comerciais em sua maioria localizado na Avenida Pratagy, bairro do Benedito Bentes. A rua onde foi colocado o Ponto 08 é composta por área de pontos comerciais com prédios que variam de 1 a 2 pavimentos, possui alta densidade de construção, caracterizada como uma rua de alto tráfego de veículos e pedestres, com vegetação inexistente, pavimentação asfáltica e solo impermeável. (Figura 20). O ponto localiza-se na Zona Residencial do tipo 3 (ZR-3). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona é destinada à ocupação predominante do uso residencial, com verticalização baixa, possibilidade de implantação de atividades comerciais, de serviços e industriais e o estímulo à promoção de habitação de interesse social.

**Figura 20** - Ponto de coleta de dado e panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Benedito Bentes



Fonte: Elaboração própria (2022)

- **Ponto 09 (P09): Serraria**

Como último ponto para área amostral foi selecionada uma área com edificações residenciais unifamiliares, localizada na Avenida Menino Marcelo, no Condomínio Reserva do Vale, bairro Serraria. A rua onde foi colocado o Ponto 09 é um espaço composto por residências unifamiliares, com baixa densidade de construção. Caracterizada como uma rua de baixo tráfego de veículos e pedestres, cercada por vegetações, pavimentação asfáltica e áreas permeáveis (Figura 21). O ponto localiza-se na Zona de Expansão do tipo 2 (ZE-2). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió (MACEIÓ, 2007) esta Zona possibilita o potencial para crescimento urbano com verticalização alta, limitada a 20 pavimentos com atividades comerciais, de serviços e industriais e o estímulo aos empreendimentos e estabelecimentos de incentivo à implantação de infra-estrutura e serviços urbanos.

**Figura 21** - Ponto de coleta de dados e panorâmica do ponto analisado (h = 3,50 m do solo) - Serraria



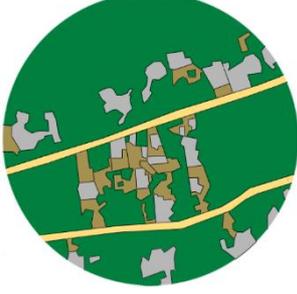
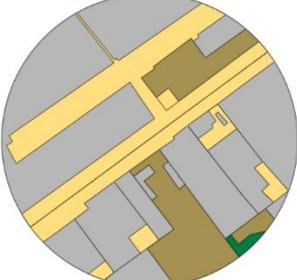
Fonte: Elaboração própria (2022)

O Quadro 7 apresenta uma síntese com as principais características de cada área amostral selecionada.

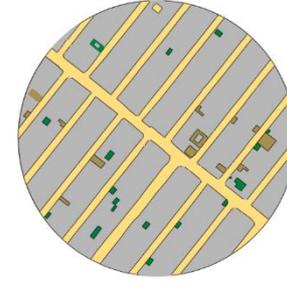
**Quadro 7** - Áreas amostrais selecionadas

ÁREA AMOSTRAL - ZONA	Imagem de Satélite (Google Earth) do Cenário Original	Cenário Original Simplificado	Latitude, Longitude e Altitude
01 - Guaxuma - Zona ZR-5			9°35'28.99"S 35°40'11.74"O 11 m
02 - Jacarecica – Zona ZR-6			9°36'51.97"S 35°41'25.60"O 10 m

CONTINUA

ÁREA AMOSTRAL - ZONA	Imagem de Satélite (Google Earth) do Cenário Original	Cenário Original Simplificado	Latitude, Longitude e Altitude
<p><b>03 -</b> <b>Ponta Grossa</b> <b>- Zona ZR-2</b></p>			<p>9°39'47.10"S 35°45'12.60"O 6 m</p>
<p><b>04 -</b> <b>Santa Amélia</b> <b>(Medeiros Neto) - Zona ZE-2</b></p>			<p>9°35'29.02"S 35°46'20.22"O 93 m</p>
<p><b>05 -</b> <b>Santa Amélia</b> <b>(Chácara da Lagoa) - Zona ZE2</b></p>			<p>9°35'09.29"S 35°47'27.57"O 107 m</p>
<p><b>06 -</b> <b>Tabuleiro dos Martins</b> <b>- Zona ZI</b></p>			<p>9°33'51.82"S 35°45'47.34"O 73 m</p>

CONTINUA

ÁREA AMOSTRAL - ZONA	Imagem de Satélite (Google Earth) do Cenário Original	Cenário Original Simplificado	Latitude, Longitude e Altitude
07 – Cidade Universitária – Zona ZE-1			9°33'5.67"S 35°46'11.96"O 84 m
08 - Benedito Bentes – ZR- 3			9°32'47.13"S 35°43'22.43"O 87 m
09 - Serraria – Zona ZE-2			9°35'29.21"S 35°43'16.09"O 70 m

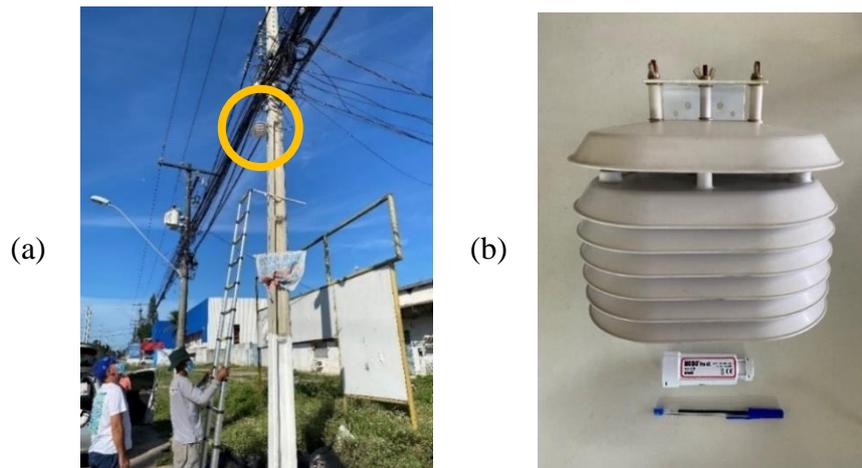
Fonte: Elaboração própria (2022)

### 4.3. Campanha de Monitoramento

O registro de temperatura do ar nos pontos amostrais por meio do método de pontos fixos foi feito com a instalação de sensores nos nove pontos selecionados na área urbana de Maceió. Por meio do emprego de registros em pontos fixos, foi possível mensurar os efeitos da urbanização sobre a temperatura do ar e umidade relativa do ar. Para esta pesquisa foram utilizados dataloggers de temperatura do ar e umidade do ar para ambientes externos, da marca Hobo, modelo U23-001 (faixa de operação -40° a 70 °C; precisão ± 0,21 °C (0 °C a 50 °C); e resolução 0,02 °C a 25 °C, para registro de temperatura do ar). O datalogger foi alocado no interior de um abrigo meteorológico contra intempéries e incidência da radiação solar direta, da marca Hobo, modelo RS1. Os equipamentos foram instalados em postes de iluminação pública

a aproximadamente 3,5 m do solo (por questão de segurança do equipamento), fixados em pontos representativos da cidade, com o intuito de demonstrar os efeitos das diferentes geometrias urbanas no comportamento microclimático. Cada ponto selecionado foi detalhado no item anterior. A Figura 22 mostra o sensor HOBO utilizado nesta pesquisa.

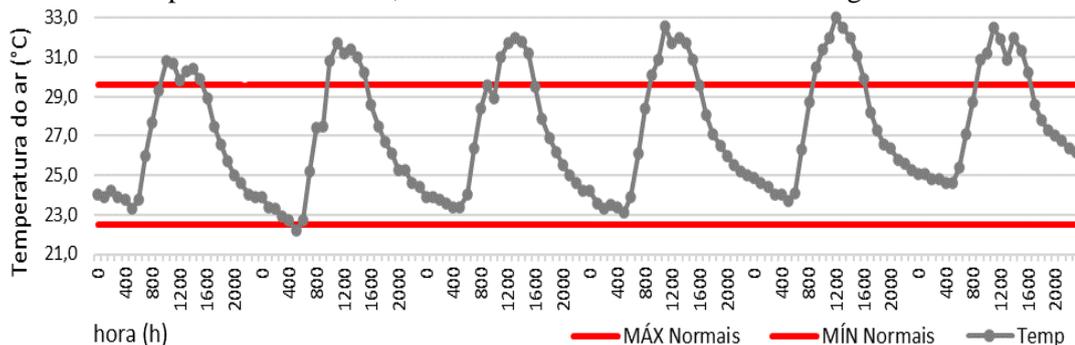
**Figura 22** - (a) foto da instalação do Hobo (b) datalogger de temperatura do ar e umidade relativa do ar, marca Hobo, modelo U23-001 e abrigo meteorológico da marca Hobo, modelo RS1



Fonte: Elaboração própria (2022)

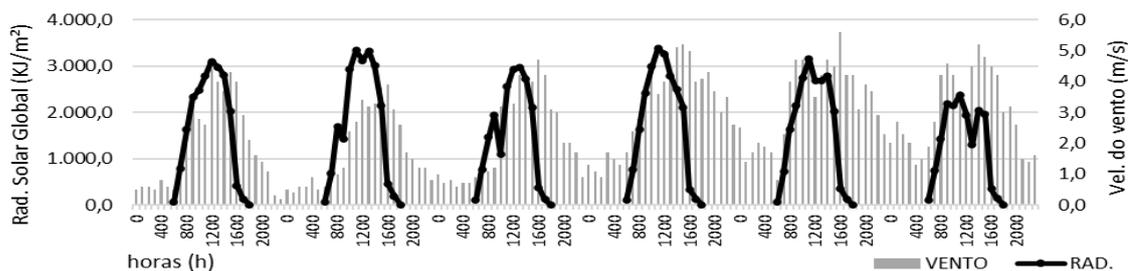
A campanha de monitoramento foi realizada no período de 12/03/2022 à 16/07/2022, totalizando 127 dias. Entretanto, para a presente pesquisa, foi selecionado um período de seis dias representativos do verão (11 a 16 de abril de 2022), com predomínio de céu claro e ar calmo. A Figura 23 apresenta a variabilidade da temperatura do ar nos dias representativos escolhidos e os valores médios do mês de abril encontrados nas Normais Climatológicas de Maceió (1981-2010). A Figura 24 apresenta os dados obtidos de velocidade do vento e de radiação solar global nos dias representativos.

**Figura 23** – Dados de temperatura do ar no período de 11 a 16 de abril de 2022 e médias das máximas e mínimas para o mês de abril, de acordo com as Normais Climatológicas 1981-2010.



Fonte: Elaboração própria (2023)

**Figura 24** - Dados de velocidade do vento e de radiação solar global no período de 11 a 16 de abril de 2022.



Fonte: Elaboração própria (2023)

A análise dos dados indicou diferenças significativas nas temperaturas do ar mínimas nos dias 15 e 16 em comparação às normais. Durante a madrugada, por volta das 4:00 h, os valores encontrados foram mais altos do que o esperado, exceto no dia 12, quando registrou-se a menor temperatura do ar abaixo das normais, atingindo 22 °C. Quanto às temperaturas do ar máximas, todos os dias apresentaram valores mais altos do que o máximo esperado para o período, entre 10:00 h e 14:00 h, indicando uma tendência de aumento ao longo dos anos. O dia 15 registrou a temperatura máxima mais elevada, atingindo 33 °C.

Em relação à velocidade do vento e a radiação solar global, observou-se que os dias 14 e 15 foram os de maior incidência de radiação solar global e velocidade do vento. No dia 14, às 11:00 h, registrou-se um valor de 3.500 KJ/m<sup>2</sup> de radiação solar global, enquanto no dia 15, às 16:00 h, a velocidade do vento atingiu 5,8 m/s. Por outro lado, os valores mais baixos foram registrados no dia 13, às 10:00 h, com uma radiação solar de 1.000 KJ/m<sup>2</sup>, e no dia 11, às 23:00 h, com a velocidade mínima do vento de 0,2 m/s. Esses dados indicam que as maiores velocidades do vento ocorreram nos dias mais quentes, enquanto as menores velocidades foram observadas nos dias e horários de temperaturas do ar mais baixas.

#### 4.4 Cálculo dos parâmetros morfológicos de classificação para cada LCZ

A caracterização da área foi baseada no método proposto por Stewart & Oke (2012) para a classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ), o Quadro 8 apresenta o método utilizado para a obtenção dos dados, através das seguintes ferramentas e procedimentos:

**Quadro 8** - Obtenção de dados para classificação das LCZs

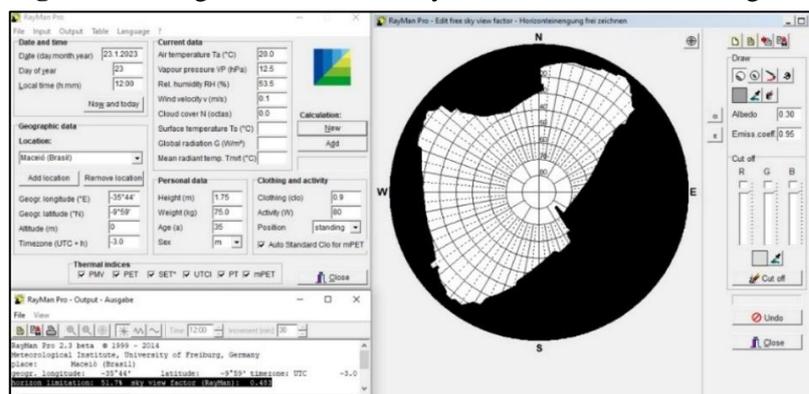
Parâmetros	Forma de Obtenção dos dados
Relação H/W	Google Street View + Confirmação em Campo
FVC	Fotografia com lente olho de peixe + Rayman
% Área edificada	Google Earth Pro + AutoCAD + Confirmação em Campo
% Área permeável	Google Earth Pro + AutoCAD + Confirmação em Campo
% Área impermeável	Google Earth Pro + AutoCAD + Confirmação em Campo
Altura média da Rugosidade	Google Street View + Confirmação em Campo
Classe de Rugosidade	Davenport et al. (2000)

Fonte: Elaboração própria (2022).

Para o cálculo da relação H/W foi feita a média geométrica das alturas dos edifícios e árvores e da largura das vias, sendo considerado passeio e recuos frontais. As dimensões foram estimadas com base nas imagens do Google Street View. O cálculo das áreas permeáveis, impermeáveis e edificada foi realizado a partir da base cartográfica da cidade, vetorizada em arquivo com extensão “dwg” fornecida pela Prefeitura Municipal, com o auxílio do *software* AutoCAD® 2021. O detalhamento das características de cobertura do solo foi obtido por meio de sobreposição de imagem de satélite do Google Earth Pro (2022), com informações complementares obtidas a partir de checagem *in loco* de frações do local.

Para o cálculo de Fator de Visão do Céu (FVC) foram obtidas fotos com o auxílio de uma lente olho de peixe, modelo FC-E8, da marca Nikon, acoplada a uma câmera fotográfica digital, modelo Coolpix 4500, também da marca Nikon, posicionada sobre um tripé metálico a 1,10 m do solo, equipado com nível bolha e orientada para o Norte. A foto foi, então, submetida ao *software* RayMan 1.2 Pro (Figura 25) que gerou o cálculo entre a proporção de céu aberto e obstruído da imagem.

**Figura 25-** Imagem do software Rayman com cálculo de área gerada



Fonte: *Software* RayMan 1.2 Pro (2022)

A classe de rugosidade urbana foi calculada a partir do comprimento de rugosidade ( $Z_0$ ), que considera, além da altura, a área de fachada e a área ocupada pelas edificações, sendo utilizada a classificação de Davenport et al. (2000), conforme recomendado por Stewart & Oke (2012).

Para este parâmetro de geometria urbana foi feito o cálculo do comprimento de rugosidade ( $Z_0$ ), que considera a média geométrica das alturas dos elementos existentes, além da área de fachada e a área ocupada pelas edificações. A partir disso, foi utilizada uma equação, encontrando seu valor final para posteriormente ser utilizada a classificação de Davenport et al. (2000) (Tabela 2). A partir dos estudos de Nakata-Osaki et al. (2016a; 2016b) que aplicou a adaptação do  $Z_0$  para a plataforma de cálculo no SIG onde é vista na Eq. 1. Assim as diferentes tendências de crescimento da intensidade de ilha de calor em relação ao valor de H/W e em

função da rugosidade puderam ser observadas. Com base nessa diferença, o modelo foi ajustado através de equações de correções, obtendo-se, assim, o modelo adaptado (Figura 26).

$$Z_0 = 0,5h (A^*/A') \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

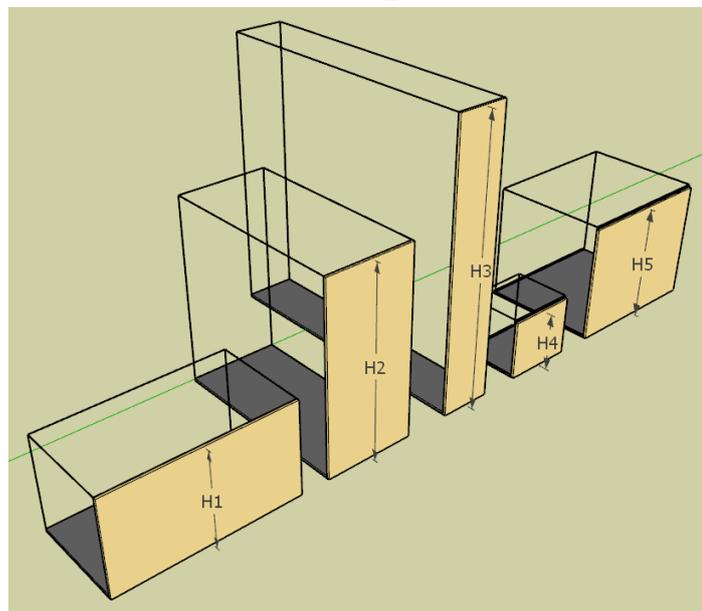
$Z_0$  é o comprimento da rugosidade (m);

$h$  é a altura média das edificações da quadra urbana (m);

$A^*$  é a área média da fachada voltada ao centro/eixo do cânion urbano (m<sup>2</sup>); e

$A'$  é a área média ocupada por cada edificação da quadra urbana (m<sup>2</sup>).

**Figura 26** - Modelo de comprimento da rugosidade



Fonte: Adaptado de Nakata-Osaki et al (2016b)

A Tabela 2 mostra as relações dos valores estimados de  $Z_0$ , segundo Davenport *et al.* (2000), e suas classificações em relação às Zonas Climáticas Locais.

**Tabela 3** - Classificação do comprimento de rugosidade

Classe de Davenport	Comprimento da rugosidade $z_0$ (m)	LCZ Correspondentes
1. Oceano	0,0002	E, F, G
2. Suave	0,0050	E, F
3. Aberto	0,0300	D
4. Aproximadamente aberto	0,1000	7, C, D
5. Irregular	0,2500	5 - 10, B, C
6. Muito irregular	0,5000	2, 3, 5, 6, 9, 10, B
7. Leve	1,0000	2, 4
8. Caótico	$\geq 2,0000$	1, 4, A

Fonte: Adaptado de Davenport et al. (2000)

Os parâmetros foram cruzados com os valores da geometria e as propriedades da cobertura de superfície para LCZs, apresentados como referência por Stewart & Oke (2012). As LCZs foram classificadas de acordo com a correspondência dos parâmetros.

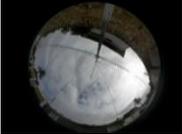
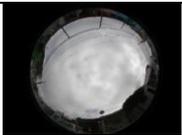
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os dados obtidos através da classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs), de acordo com os objetivos e métodos estabelecidos. A partir dos resultados obtidos, realizou-se uma análise comparativa das LCZs identificadas, levando em consideração a variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. A seção é dividida em duas partes principais: a classificação e caracterização das LCZs encontradas e as análises do comportamento da temperatura do ar e da umidade do ar. Por fim, essa análise aprofundada dos dados coletados permitirá uma compreensão mais abrangente das características das LCZs em estudo e suas relações com os parâmetros climáticos analisados.

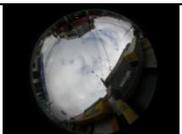
### 5.1 Classificação e caracterização das LCZs identificadas

As áreas dos pontos amostrais foram classificadas em LCZs a partir dos parâmetros definidos na metodologia de Stewart e Oke (2012). Os valores calculados dos parâmetros morfológicos para cada ponto amostral são apresentados na Tabela 4. Os cálculos dos parâmetros são detalhados no Apêndice A e B.

**Tabela 4** – Valores dos parâmetros morfológicos dos nove pontos amostrais para classificação das LCZs.

Ponto def.	H/W	FVC	%Edif.	%Imp.	%Perm.	Alt. Rug.	Cls. Rug.
<b>P01 - Guaxuma</b>	0,60	 0.602	30,02	22,73	47,23	3,66	7
<b>P02 - Jacarecica</b>	1,20	 0.634	27,55	43,62	28,81	7,54	8
<b>P03 – Ponta Grossa</b>	0,25	 0.716	69,70	25,75	04,53	2,44	3
<b>P04 – Santa Amélia (Medeiros Neto)</b>	0,80	 0.666	36,78	43,50	19,65	7,0	8
<b>P05 – Chácara da Lagoa</b>	0,50	 0.184	11,84	05,94	82,21	3,55	6

CONTINUA

Ponto def.	H/W	FVC	%Edif.	%Imp.	%Perm.	Alt. Rug.	Cls. Rug.	
<b>P06 – Tabuleiro dos Martins</b>	0,83		0.691	59,13	25,64	15,21	7,45	7
<b>P07 - UFAL</b>	0,57		0.813	11,59	21,31	67,09	5,88	6
<b>P08 – Benedito Bentes</b>	0,62		0.483	73,44	24,10	02,45	5,45	7
<b>P09 – Serraria (Reserva do Vale)</b>	0,60		0.649	14,17	08,40	77,41	3,66	6
H/W: Relação H/W FVC: Fator de Visão do Céu %Edif.: Fração de Porcentagem Edificada %Imp.: Fração de Porcentagem Impermeável %Perm.: Fração de Porcentagem Permeável Alt. Rug.: Altura da Rugosidade Cls. Rug.: Classe de Rugosidade do Terreno								

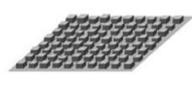
Fonte: Elaboração própria (2022)

A partir dos valores morfológicos de cada área selecionada acima, foi possível identificar cada tipo de LCZs. O Quadro 9 apresenta a caracterização dos nove pontos amostrais classificados em seis LCZs e uma zona de subclassificação.

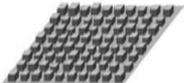
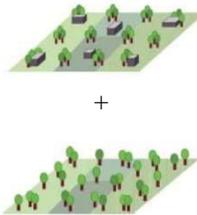
**Quadro 9** – Caracterização dos onze pontos amostrais classificados em LCZs.

Ponto Amostral	Imagem da área (diâmetro de 400m)	Classificação da LCZ		
		Imagem	Nome	Descrição
<b>P01 - Guaxuma</b>			LCZ 6	Arranjo aberto de edifícios baixos (1-3 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de madeira, tijolos, pedras, telhas e concreto.

CONTINUA

Ponto Amostral	Imagem da área (diâmetro de 400m)	Classificação da LCZ		
		Imagem	Nome	Descrição
P02 - Jacarecica			LCZ 5	Arranjo aberto de edifícios médios (3-9 pavimentos). Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.
P03 – Ponta Grossa			LCZ 3	Densa mistura de prédios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedras, tijolos, ladrilhos e concreto.
P04 – Santa Amélia (Medeiros Neto)			LCZ 2	Mistura densa de edifícios médios (3-9 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo é principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedras, tijolos, ladrilhos e concreto.
P05 – Santa Amélia (Chácara da Lagoa)			LCZ 9	Arranjo com pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).

CONTINUA

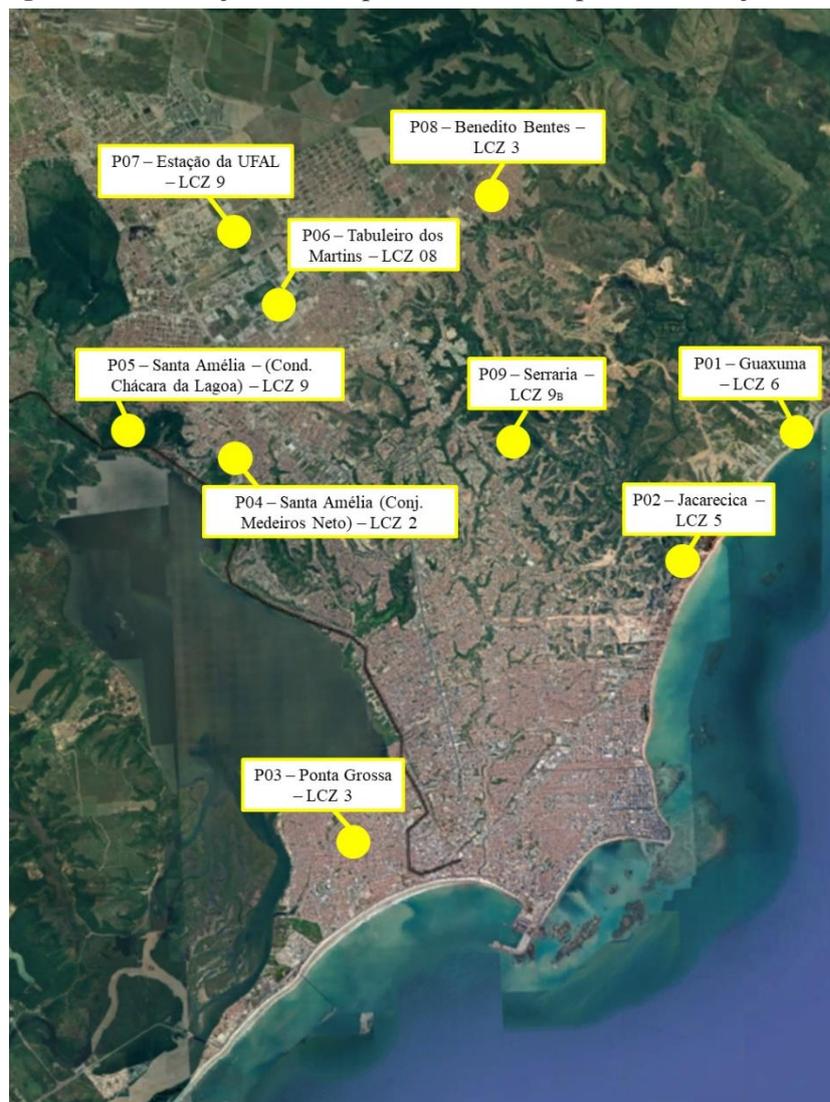
Ponto Amostral	Imagem da área (diâmetro de 400m)	Classificação da LCZ		
		Imagem	Nome	Descrição
P06 – Tabuleiro dos Martins			LCZ 08	Arranjo aberto de grandes edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de aço, concreto, metal e pedra.
P07 - UFAL			LCZ 9	Arranjo com pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).
P08 – Benedito Bentes			LCZ 3	Densa mistura de prédios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo principalmente pavimentada. Materiais de construção de pedras, tijolos, ladrilhos e concreto.
P09 – Reserva do Vale			LCZ9 <sub>B</sub>	Arranjo com pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Sendo paisagem levemente arborizada de árvores de folha caduca e/ou de folhas perenes.

Fonte: Elaboração própria (2022)

Foram identificadas 07 LCZs, sendo 06 de tipologia construída e 01 de tipologia construída + tipologia de cobertura de solo. Cabe destacar que, apesar dos pontos P04 e P06 terem sido originalmente classificados como LCZ 3 e 5, respectivamente, as características construtivas e de cobertura do solo destas áreas indicam sua classificação correspondente à LCZ 2 (P04) e LCZ 08 (P06). Este fato sugere que a classificação das LCZs unicamente pelos cálculos dos parâmetros morfológicos, sem uma análise crítica do pesquisador, pode resultar em classificações equivocadas.

Assim, a classificação dos pontos amostrais resultou na identificação de um ponto como LCZ 2 (P04), dois pontos como LCZ 3 (P03 e P08), um ponto como LCZ 5 (P02), um ponto como LCZ 6 (P01), dois pontos como LCZ 9 (P05 e P07), um ponto como LCZ 08 (P06), e um ponto com subclassificação como LCZ 9<sub>B</sub> (P09). A Figura 27 apresenta a localização dos pontos classificados em LCZ.

**Figura 27** - Marcação de cada ponto com sua respectiva definição de LCZ

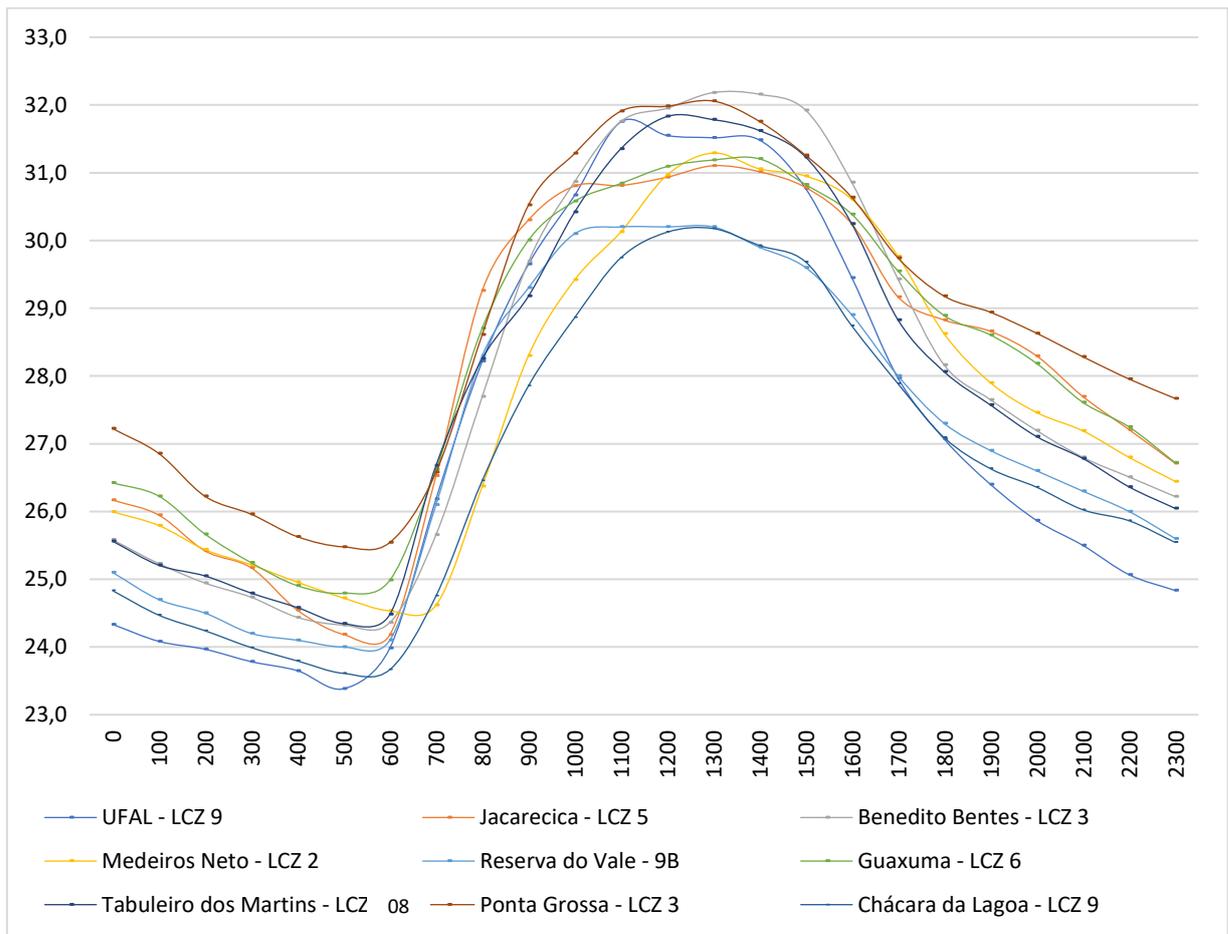


Fonte: Elaboração própria (2023)

## 5.2 Análises do comportamento da temperatura do ar

A variabilidade das temperaturas do ar monitoradas é apresentado na Figura 28. Comparando os pontos de LCZ observou-se que há resposta térmica diferente entre eles. A fim de determinar a presença de outliers, os dados foram submetidos a testes, porém nenhum foi identificado.

**Figura 28** - Comportamento da Temperatura Máxima e Mínima no período de 11 a 16 de abril de 2022



Fonte: Elaboração própria (2023)

A partir dos dados monitorados, percebeu-se que no período da madrugada a LCZ 3 (Ponta Grossa) foi a mais quente e a que perdeu menos calor dentre as outras LCZs. O maior acúmulo de calor neste ponto deve-se à proximidade com a orla lagunar e à densidade construída (possui 69% de área edificada). Também foi possível notar que as LCZs 9 atingiram as menores temperaturas em relação as outras LCZs, com 23,4 °C e 23,6 °C, na UFAL e no Cond. Chácara da Lagoa, respectivamente às 05:00 h, devido a maior parcela de área permeável (67% e 82%, respectivamente). A presença da vegetação nas LCZs 9 acarretou a diminuição da temperatura do ar em função do sombreamento gerado pelas copas das árvores e presença de solo natural, além da altitude elevada e distanciamento da orla marítima e lagunar.

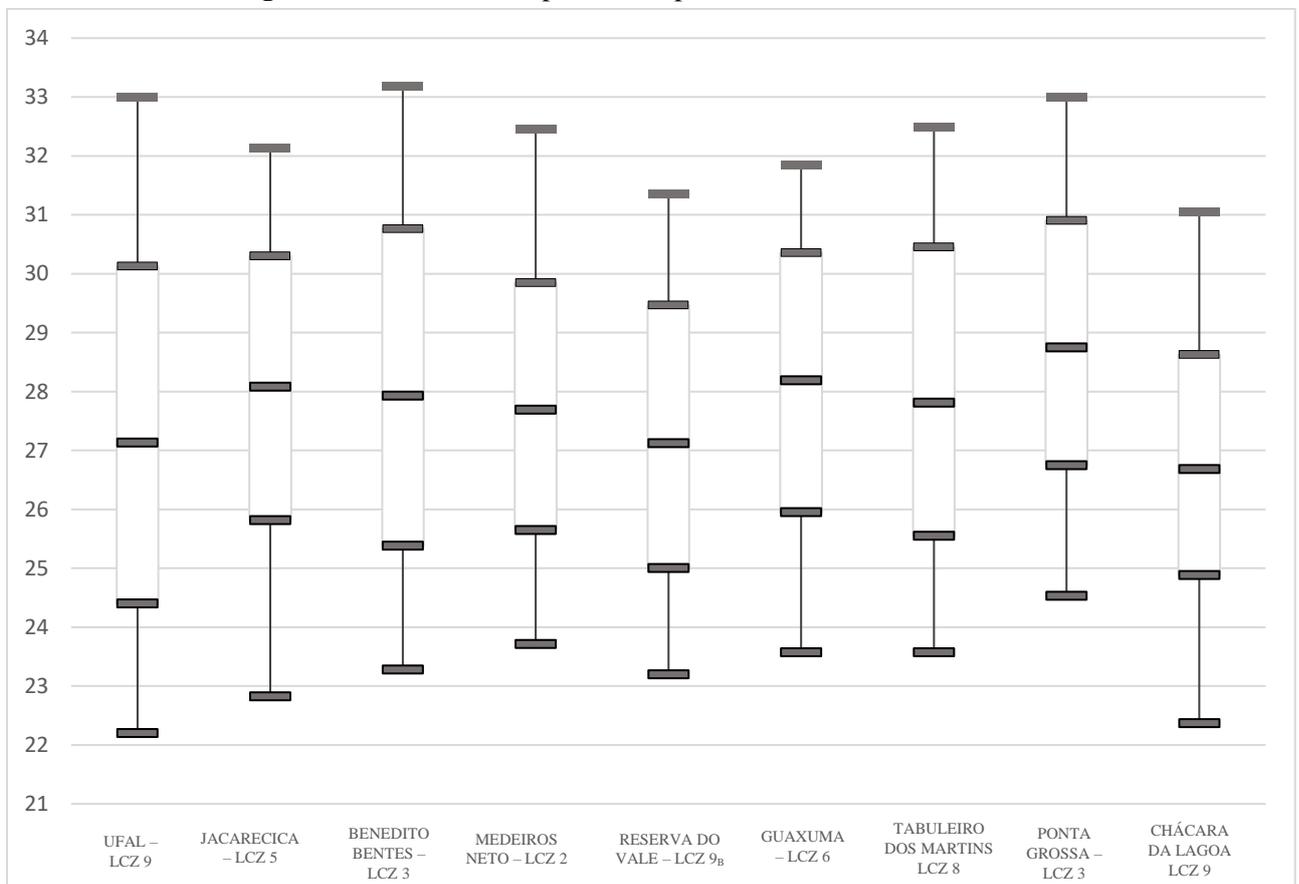
No período da manhã, as LCZs 3 apresentaram as maiores temperaturas chegando a 32 °C às 12:00 h, sendo a máxima diária observada na Ponta Grossa, porém o ponto do Benedito Bentes continuou a aquecer. A LCZ 9<sub>B</sub> foi a que teve o aquecimento mais lento dentre as outras, apresentou uma das mais baixas temperaturas máximas dentre as LCZs, com 30,2 °C, devido a sua grande área vegetada com porcentagem de área permeável de 97%.

No período da tarde, houve tendência de aquecimento concentrando-se nas LCZs 3 com as temperaturas máximas de 32,2 °C e 32,1 °C, no Benedito Bentes e na Ponta Grossa, respectivamente, no horário das 13:00 h. O maior aquecimento nessas áreas deve-se provavelmente pela elevada quantidade de área edificada (69% e 73%, respectivamente) e área impermeável (24% e 25%, respectivamente), além da ausência de vegetação.

No período da noite, a LCZ 3 (Ponta Grossa) foi a que teve maior retenção de calor, chegando a 27,7 °C. A LCZ 9 (UFAL) perdeu calor mais rapidamente em relação às outras áreas, chegando a 24,8 °C, ambas no horário das 23:00 h.

O comportamento da Temperatura Média e da Amplitude de cada Zona Climática Local é apresentado na Figura 29 e os dados numéricos na Tabela 5.

**Figura 29** - Caixa de Boxplot de temperatura 11 Á 16 de abril de 2022



Fonte: Elaboração própria (2023)

**Tabela 5** - Tabela de Temperatura Máxima, Mínima e Média e Amplitude de cada LCZ

	PLANÍCIE			TABULEIRO					
	Guaxuma	Jacarecica	Ponta Grossa	Ufal	Benedito Bentes	Coj. Medeiros Neto	Cond. Reserva do Vale	Tabuleiro dos Martins	Cond. Chácara da Lagoa
<b>Máx</b>	31,2	31,1	32,1	31,8	32,2	31,3	30,2	31,8	30,2
<b>Mín</b>	24,8	24,2	25,5	23,4	24,2	24,5	24,0	24,3	23,6
<b>Méd</b>	28,2	28,1	28,7	27,1	27,9	27,7	27,1	27,8	26,7
<b>Amplitude</b>	6,4	6,9	6,6	8,4	7,9	6,8	6,2	7,5	6,6

Fonte: Elaboração própria (2023)

Nota-se que o maior ganho de calor considerando a temperatura média foi na LCZ 3 (Ponta Grossa), com 28,7 °C e a LCZ 9 (Cond. Chácara da Lagoa) a menor com 26,7 °C. Já para os dados de amplitude entre as temperaturas mínimas e máximas durante o período coletado a LCZ 9 (UFAL) apresentou maior amplitude térmica de 8,4 °C e a LCZ 9<sub>B</sub> apresentou a menor amplitude de 6,2 °C.

As diferenças observadas entre as LCZs com maior contraste (Ponta Grossa e Cond. Chácara da Lagoa) atingiram 2,0 °C, dessa forma é essencial considerar que a morfologia de cada uma que determinou essa diferença, sendo a vegetação, a densidade de edificações contruídas os principais fatores.

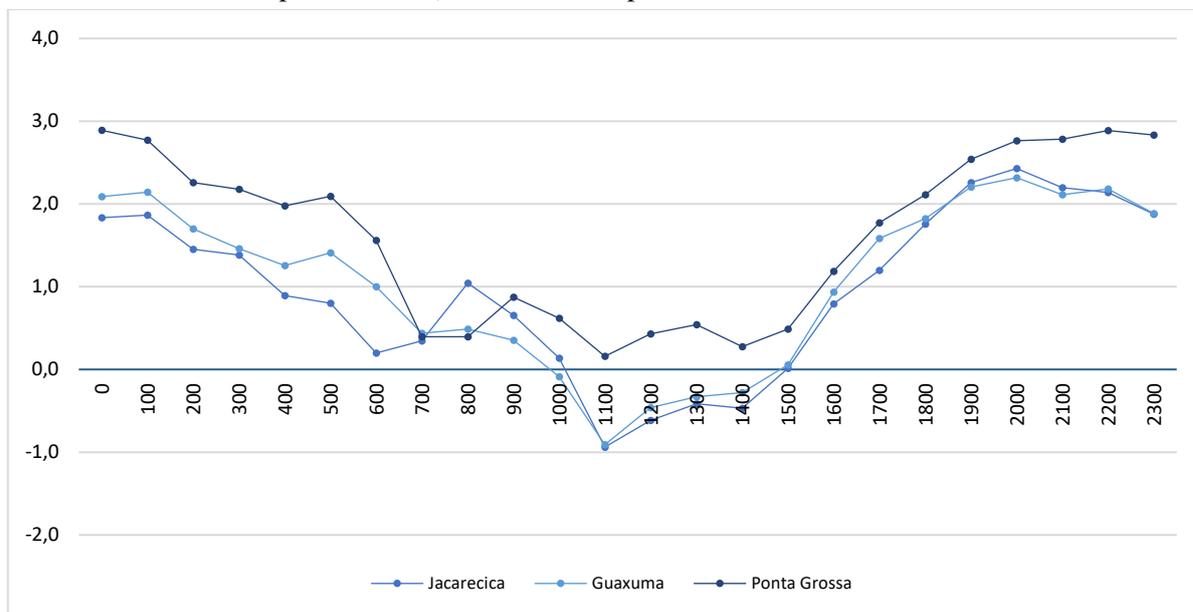
Nas seções a seguir, a análise foi feita a partir de dois critérios: (1) diferentes LCZs inseridas na mesma localização geográfica quanto ao relevo e à proximidade das massa d'água; e (2) mesma LCZ em diferentes localizações geográficas quanto ao relevo e à proximidade das massa d'água. Todos os dados foram comparados a partir dos dados obtidos pela estação do INMET (Ponto da UFAL).

### 5.2.1 Análise de diferentes LCZs com a mesma localização geográfica

Neste tópico, buscou-se analisar o comportamento dos pontos classificados com diferentes LCZs, mas inseridos na mesma localização geográfica em relação ao relevo e proximidade com as massas d'água (Oceano Atlântico e Lagoa Mundaú). Para tanto, tomou-se a estação do INMET como referência para análise das diferenças térmicas.

O comportamento horário médio das temperaturas do ar monitoradas entre as LCZs localizadas na Planície Litorânea é apresentado na Figura 30.

**Figura 30** - Diferenças térmicas entre as LCZs 5, 6 e 3 (Jacarecica, Guaxuma e Ponta Grossa, respectivamente) localizadas na planície litorânea de Maceió.



Fonte: Elaboração própria (2023).

Os resultados evidenciaram diferenças na resposta térmica entre as LCZs avaliadas. Durante o período noturno, a LCZ 3 (Ponta Grossa) apresentou temperatura mais elevada, sendo 2,9 °C superior à LCZ 9. No entanto, no período matutino, a disparidade térmica entre as LCZs diminuiu, sendo observada uma diferença de apenas 0,4 °C às 07:00 h. Já durante as horas entre 10:00 h e 11:00 h, as LCZs 5 e 6 (Jacarecica e Guaxuma, respectivamente) exibiram as temperaturas mais baixas, com -0,9 °C.

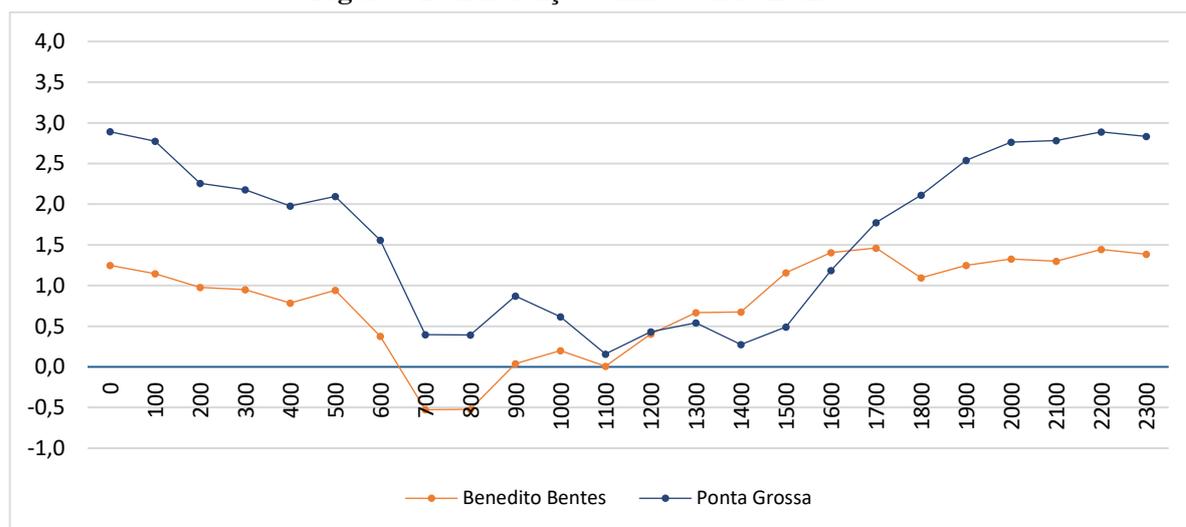
Durante o período vespertino, verificou-se um aumento na temperatura a partir das 15:00 h, sendo a LCZ 3 a que apresentou maior aquecimento, atingindo uma elevação de 1,8 °C em relação às demais. No período noturno, especificamente às 22:00 h, a LCZ 3 exibiu a temperatura mais alta, com diferença de 2,9 °C em relação à LCZ 9. É importante salientar que, ao longo de todo o período analisado, a LCZ 3 se manteve como a mais quente, mesmo considerando que as LCZs 5 e 6 estão localizadas em região próxima à orla marítima. Tal fato sugere que as características que influenciaram o aumento de temperatura na LCZ 3 foram a ausência de vegetação e a alta densidade de edificações construídas nessa área.

### 5.2.2. Análise de LCZs análogas com diferentes localizações geográficas

Neste tópico, buscou-se analisar o comportamento dos pontos classificados com as mesmas LCZs, mas inseridos em diferentes localizações geográficas em relação ao relevo e proximidade com as massas d'água (Oceano Atlântico e Lagoa Mundaú), tomando-se a estação do INMET como referência para análise das diferenças térmicas.

Dois pontos foram classificados como LCZ 3, sendo um localizado na Planície Litorânea (Ponta Grossa), com cota topográfica próximo ao nível do mar (6 m) e proximidade com massa d'água, e outro localizado na parte alta do tabuleiro (Benedito Bentes), com cota topográfica de 87 m acima do nível do mar e distante da orla lagunar. O comportamento horário médio das temperaturas do ar monitoradas entre as LCZs 3 (Ponta Grossa e Benedito Bentes) é apresentado na Figura 31.

**Figura 31** - Diferenças térmicas entre LCZs 3 e 9



Fonte: Elaboração própria (2023)

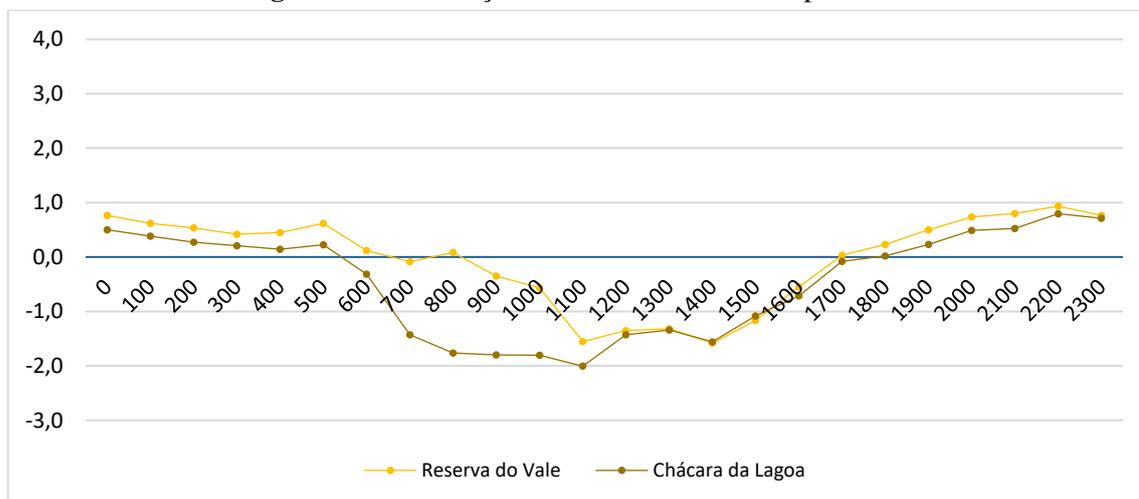
Ao comparar os pontos de LCZs, foi observado que há diferenças nas respostas térmicas entre elas. Durante o período do início da madrugada, a LCZ 3 (Ponta Grossa) apresentou a temperatura mais elevada, registrando uma diferença de 2,9 °C em relação à LCZ 9. Por outro lado, o ponto localizado em Benedito Bentes (LCZ 3) demonstrou sua maior diferença de 1,2 °C. No período da manhã, o ponto de Benedito Bentes registrou as menores temperaturas às 07:00 h às 08:00 h, com um valor de 0,5 °C. Posteriormente, a temperatura começou a subir novamente a partir das 11:00 h.

Durante o período vespertino, o ponto localizado no Benedito Bentes atingiu a maior temperatura, permanecendo constante com 1,5 °C até a noite. Por outro lado, o ponto localizado em Ponta Grossa apresentou um aumento gradual da temperatura durante todo o período noturno, atingindo o máximo às 22:00 h com 2,9 °C. Embora ambos os pontos pertençam à mesma categoria de LCZ, a diferença de temperatura foi mais significativa no ponto de Ponta Grossa em relação ao ponto do Benedito Bentes devido à sua localização próxima à orla lagunar e à ausência de cobertura vegetal em sua área.

Outros dois pontos foram classificados como LCZ 9 (Cond. Chácara da Lagoa) e 9<sub>B</sub> (Cond. Reserva do Vale), ambos localizados na parte alta do tabuleiro, entretanto com diferença

quanto à proximidade da Lagoa Mundaú. O comportamento horário médio das temperaturas do ar monitoradas entre as LCZs 9 (Chácara da Lagoa) e 9<sub>B</sub> (Reserva do Vale) é apresentado na Figura 32.

**Figura 32** - Diferença térmica entre LCZs do tipo 9 e 9<sub>B</sub>



Fonte: Elaboração própria (2023)

Durante o período analisado, a LCZ 9<sub>B</sub> apresentou a maior temperatura registrada em relação às outras zonas com uma variação de 0,8 °C às 00:00 h. No entanto, a temperatura começou a declinar durante o período matutino em ambas as zonas, sendo que a LCZ 9 (Cond. Chácara da Lagoa) apresentou as temperaturas mais baixas, alcançando um pico negativo de -2,0 °C às 11:00 h. Durante a tarde, a temperatura aumentou novamente, atingindo um valor de -1,0 °C. Apenas no período noturno, a LCZ 9<sub>B</sub> registrou a temperatura mais elevada, atingindo 0,9 °C às 22:00 h. A diferença entre as temperaturas nas duas zonas não se mostrou significativa devido às semelhanças em suas malhas urbanas. Contudo, cabe destacar que as menores temperaturas no Cond. Chácara da Lagoa deve-se, especialmente, pela presença maciça de arborização.

### 5.3 Análises do comportamento da umidade do ar

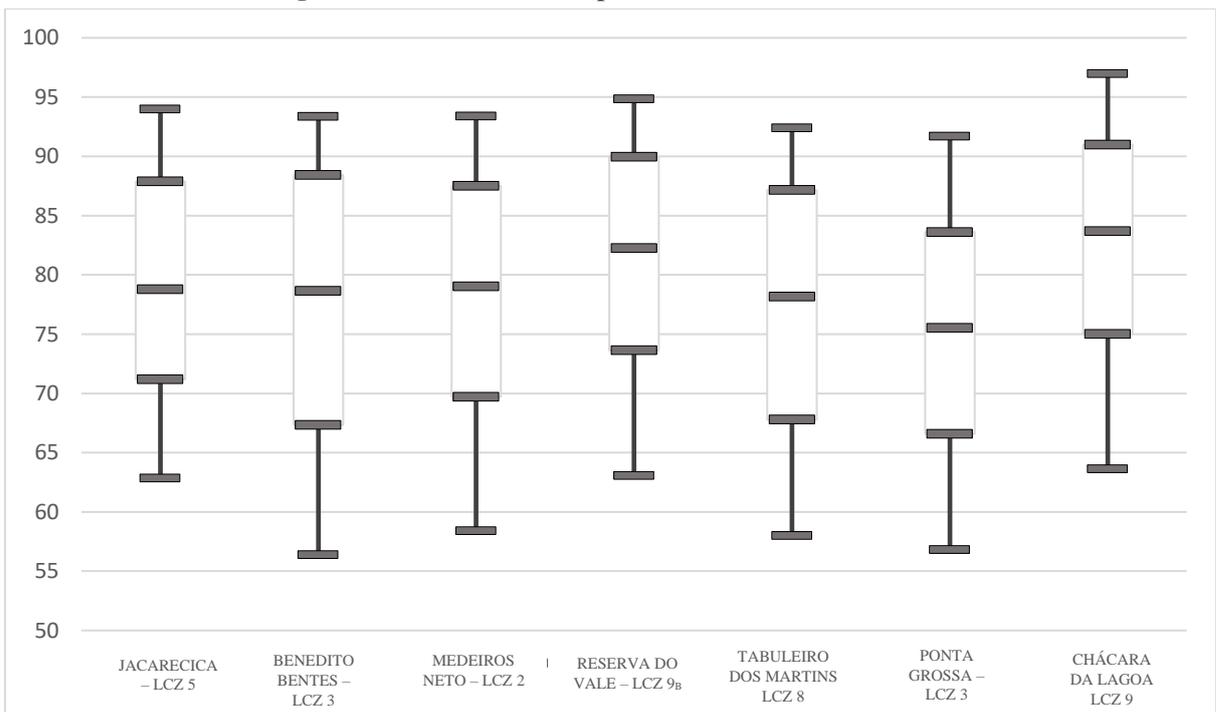
O comportamento médio da umidade relativa do ar e da amplitude de cada Zona Climática Local encontra-se na Figura 33 e Figura 34 e seus dados numéricos se encontram na Tabela 6. A fim de determinar a presença de outliers, os dados foram submetidos a testes, porém nenhum foi identificado. Apenas os dados da LCZ 9 (UFAL) e da LCZ 6 (Guaxuma) que não puderam ser inseridos pois os mesmos, não foram colocados no site do INMET e o HOBO não registrou os dados corretamente.

**Figura 33** - Gráfico de umidade relativa do ar Máxima e Mínima no período de 11 à 16 de abril de 2022



Fonte: Elaboração própria (2023)

**Figura 34** - Gráfico de Boxplot de umidade relativa do ar.



Fonte: Elaboração própria (2023)

**Tabela 6** - Tabela de Umidade Máxima, Mínima e Média e Amplitude de cada LCZ

	PLANÍCIE		TABULEIRO				
	Jacarecica	Ponta Grossa	Benedito Bentes	Coj. Medeiros Neto	Cond. Reserva do Vale	Tabuleiro dos Martins	Cond. Chácara da Lagoa
Máx	93,98	91,68	93,35	93,39	94,83	92,37	96,95
Mín	62,84	56,81	56,37	58,4	63,06	57,98	63,60
Méd	78,80	75,50	78,70	79,00	82,30	78,20	83,70
Amplitude	31,14	34,87	36,98	34,99	31,77	34,39	33,35

Fonte: Elaboração própria (2023)

Observou-se que a LCZ 9 (Cond. Chácara da Lagoa) apresentou tanto a maior umidade máxima registrada, atingindo 96,95%, quanto a maior umidade mínima, com 63,60%. Essa condição pode ser atribuída à presença de vasta área de vegetação em sua proximidade. Em contraste, a LCZ 3 (Ponta Grossa) e a LCZ 08 (Tabuleiro dos Martins) apresentaram os menores valores de umidade máxima, registrando 91,68% e 92,37%, respectivamente. Já a LCZ 3 (Benedito Bentes) apresentou o menor valor de umidade mínima, atingindo 56,37%, em decorrência da falta de vegetação em sua área. Embora a LCZ 3 (Ponta Grossa) esteja localizada próxima à área lagunar, a sua malha urbana e a taxa de impermeabilidade contribuíram para que os valores de umidade registrados fossem esses.

Quanto aos dados de amplitude entre os valores de umidade mínimos e máximos coletados durante o período em questão, a LCZ 3 (Benedito Bentes) apresentou a maior amplitude, registrando 36,98%. Em contrapartida, a LCZ 5 (Jacarecica) apresentou a menor amplitude, registrando 31,14%.

### 5.3.1. Análise das LCZs de acordo com a localização geográfica

Os resultados obtidos a partir das medições de umidade nas LCZs 5 (Jacarecica) e 3 (Ponta Grossa) demonstram que, apesar de terem sido classificadas como LCZs distintas, ambas apresentaram porcentagens de umidade máxima similares, com uma diferença de apenas 2,3%. No entanto, observou-se uma diferença significativa de 6,03% na porcentagem de umidade mínima entre as duas LCZs, o que sugere que a LCZ 5, por estar localizada na orla marítima, com um volume de água significativamente maior, apresentou um valor de umidade superior ao da LCZ 3. Essa análise reforça a importância de considerar não apenas a proximidade de uma LCZ com massas d'água, mas também sua localização específica em relação à área de influência dessas massas d'água para avaliar a umidade em diferentes LCZs.

### 5.3.2. Análise de LCZ análogas em topografias distintas

Os resultados obtidos das medições de umidade nas LCZs 3 (Benedito Bentes e Ponta Grossa) mostraram que, apesar das suas diferentes localizações geográficas e configurações urbanas, apresentaram valores similares da percentagem mínima de umidade relativa do ar, enquanto a diferença de umidade relativa máxima observada foi inferior a 2%. Por outro lado, as LCZs 9 (Chácara da Lagoa) e 9<sub>B</sub> (Reserva do Vale) apresentaram valores de umidade relativa similares, com uma diferença de apenas 2%. Esses resultados reforçam a hipótese de que LCZs com características semelhantes apresentam condições microclimáticas similares, independentemente da sua localização geográfica.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do presente estudo, foi possível classificar diferentes configurações morfológicas na cidade Maceió a partir do método de classificação em Zonas Climáticas Locais proposto por Stewart e Oke (2012) e verificar a influência nas condições microclimáticas desses ambientes urbanos. Dessa forma, foram identificadas sete LCZs, sendo seis de tipologia construída e uma de tipologia construída + cobertura do solo. É importante salientar que duas dessas LCZs foram inicialmente classificadas erroneamente, sendo posteriormente reclassificadas após análise crítica das características construtivas.

Assim, a classificação dos pontos amostrais permitiu a identificação de um ponto como LCZ 2 (P04), dois pontos como LCZ 3 (P03 e P08), um ponto como LCZ 5 (P02), um ponto como LCZ 6 (P01), dois pontos como LCZ 9 (P05 e P07), um ponto como LCZ 08 (P06), e um ponto com subclassificação como LCZ 9B (P09).

Os dados de temperatura do ar da LCZ 3 (Ponta Grossa) demonstraram que essa LCZ possui a maior temperatura, provavelmente devido à sua localização próxima à orla lagunar e à alta densidade de construções na área. Por outro lado, as LCZs 9 apresentaram as menores temperaturas em comparação as outras LCZs. Isso se deveu, em parte, à presença de áreas permeáveis, sombreamento gerado pelas copas das árvores e à presença de solo natural, além da altitude das áreas amostradas. Esses resultados indicam que a morfologia urbana, juntamente com fatores climáticos e ambientais, podem influenciar significativamente nas temperaturas locais, o que deve ser considerado na elaboração de políticas públicas para o planejamento urbano.

A partir dos dados monitorados de umidade relativa do ar notou-se que foi a LCZ 9 (Cond. Chácara da Lagoa) que apresentou o maior valor de umidade máxima em 96,95%, por conta da vasta área de vegetação existente em sua proximidade, enquanto a LCZ 3 (Ponta Grossa) e a LCZ 08 (Tabuleiro dos Martins) apresentaram o menor de umidade máxima, com 91,68% e 92,37%, respectivamente. Por outro lado a LCZ 3 (Benedito Bentes) atingiu o menor valor de umidade mínima, com 56,37%, devido a falta de vegetação.

A partir dos dados coletados de umidade relativa do ar, foi observado que a LCZ 9 (Cond. Chácara da Lagoa) apresentou o maior valor de umidade máxima, com 96,95%. A LCZ 3 (Ponta Grossa) e a LCZ 08 (Tabuleiro dos Martins) apresentaram o menor valor de umidade máxima, com 91,68% e 92,37%, respectivamente. A LCZ 3 (Benedito Bentes) apresentou o menor valor de umidade mínima, com 56,37%. Esses resultados destacam a importância da vegetação para a regulação da umidade do ar, uma vez que a presença ou a ausência de áreas

verdes em torno de ambas LCZs pode influenciar sua porcentagem de umidade.

Durante o processo de pesquisa, algumas limitações foram identificadas, como a necessidade de identificar áreas homogêneas na cidade para a classificação das diferentes categorias de LCZ propostas por Stewart e Oke (2012). Além disso, verificou-se uma simplificação nos cálculos para a obtenção de valores de algumas variáveis, como a altura da rugosidade, que é calculada pela média geométrica das alturas dos elementos de rugosidade.

Dessa maneira, comprovou-se que a morfologia urbana, caracterizada a partir da classificação das áreas em LCZs, contribui para formação de microclimas distintos na cidade, porém a localização geográfica também foi fator importante, especialmente, no comportamento da temperatura do ar. Contudo, o presente estudo não esgota a discussão sobre a temática em Maceió. Outrossim, dá os primeiros passos para outras pesquisas sobre a influência de diferentes LCZs na conformação de microclimas, com vistas a futuros desdobramentos em recomendações para o planejamento urbano-ambiental da cidade que considere as particularidades geográficas, incluindo o clima local.

## REFERÊNCIAS

AKBARI, H., POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70, 295-310. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00089-X](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00089-X)

ALI-TOUDERT, F.; MAYER, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 94-108, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.013>

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 1, p. 1-26, 2003. <https://doi.org/10.1002/joc.859>

ASSIS, E. S. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINOAMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, p. 92-101. Maceió. **Anais**. ANTAC 2005.

BARBIRATO, G. M. **Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió - AL**. 1998. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Acesso em: 11 ago. 2022.

BARBOSA, R. V. R. (2005). **Áreas Verdes e Qualidade Térmica em Ambientes Urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BESUSSI, E.; CHIN, N.; BATTY, M.; LONGLEY, P. **The Structure and Form of Urban Settlements**. 2010. DOI: 10.1007/978-1-4020-4385-7\_2

BECHTEL B.; ALEXANDER PJ.; BÖHNER J.; CHING J.; CONRAD O.; FEDDEMA F.; MILLS G.; SEE L.; STEWART ID. **Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities**. *ISPRS Int. J. GeoInf.* 4: 199–219, doi: 10.3390/ijgi4010199. 2015.

CAI M.; REN C.; XU Y.; LAU K. K.-L.; WANG R. Investigating the relationship between local climate zone and land surface temperature using an improved WUDAPT methodology - A case study of Yangtze River Delta, China. **Urban Climate**. 2017.

CARDOSO R. S.; AMORIM M. C. C. T. Urban heat island analysis using the ‘local climate zone’ scheme in Presidente Prudente, Brazil. **Investigaciones Geográficas**, v. 69, p. 107-118. 2018.

CARDOSO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCT/UNESP. 2015.

CARVALHO, A. N. M. de. **Avaliação e aplicação de esquema de dossel urbano no modelo meteorológico WRF**. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 2019.

CHAPMAN, L.; Thornes, J. E. Real-Time Sky-View Factor Calculation and Approximation. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 21, n. 5, p. 730-742, 2004.

COURY, B. S. **Influência das safras de cana de açúcar na configuração das ilhas de calor urbano em áreas periurbanas em Piracicaba, SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. 2021.

DARAMOLA M.A T.; BALOGUN I. A. Local climate zone classification of surface energy flux distribution within an urban area of a hot-humid tropical city. **Urban Climate**. v. 29, p. 100504. 2019.

DAS, M.; DAS, A. Exploring the pattern of outdoor thermal comfort (OTC) in a tropical planning region of eastern India during summer. **Urban Climate**. v. 34, p. 100708. 2020.

DAVENPORT A. G.; GRIMMOND, C. S. B.; OKE, T. R.; WIERINGA, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. Preprints of the AMS 12th. **Conference on Applied Climatology**, p. 96-99, 2000.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiaí-SP**. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCT/UNESP. 2019.

DUARTE, D. O clima urbano e o ambiente construído. In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 155-176.

DUTTA K.; BASU D.; AGRAWAL S. Evaluation of seasonal variability in magnitude of urban heat islands using local climate zone classification and surface albedo, **International Journal of Environmental Science and Technology**, 2021.

DU R.; SONG J.; HUANG X.; WANG Q.; ZHANG C.; BROUSSE O.; CHAN P. W. High-resolution regional modeling of urban moisture island: mechanisms and implications on thermal comfort. **Building and Environment**. v. 207, p. 108542. 2022.

ELDESOKY A. H. M.; GIL J.; PONT M. B. The suitability of the urban local climate zone classification scheme for surface temperature studies in distinct macroclimate regions. **Urban Climate**. v. 37, p. 100823. 2021.

EMMANUEL, R. **Urban Climate Challenges in the Tropics: Rethinking Planning and Design Opportunities**. Imperial College Press. Glasgow Caledonian University, UK. ISBN 9781783268405. 2016.

FERNANDES, M. E. **Configuração urbana e conforto térmico ao nível do pedestre: estudos na cidade de São Carlos-SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. 2019.

FERREIRA, L.S., SHIMOMURA, A.P., FERREIRA, A.T., DUARTE, D.H.S. Mapping Local Climate Zones for São Paulo metropolitan region: a comparison between the local climate zone map and two other local maps. In: **Proceeding of PLEA 2017 - DESIGN to Thrive - Passive and Low Energy Architecture.**, Edinburgh. 2017. 2. pp. 1725–1732.

FERREIRA F. L. S., **Estimativas de temperatura superficial por satélite e análise climática em município de grande porte no Brasil.** Tese de Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos. 2020.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte: Caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira.** Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 2009.

GÁL T.; SKARBIT N.; MOLNÁR G. M.; UNGER J. Projections of the urban and intra-urban scale thermal effects of climate change in the 21st century for cities in the Carpathian Basin. **Hungarian Geographical Bulletin.** v. 70, p. 19-33 2021.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** São Paulo, Oficina de Textos, 2010.

GEHL, J. Cities for the people. **Island Press.** 2013.

GEHL, J.; SVARRE, B. How to Study Public Life. **Island Press.** 2013.

GELETIČ J.; LEHNERT M.; DOBROVOLNÝ P. Modelled spatio-temporal variability of air temperature in an urban climate and its validation: a case study of Brno, Czech Republic. **Hungarian Geographical Bulletin.** v. 65, p. 169-180. 2016.

GELETIČ J.; LEHNERT M.; DOBROVOLNÝ P.; ŽUVELA-ALOISE M. Spatial modelling of summer climate indices based on local climate zones: expected changes in the future climate of Brno, Czech Republic. **Climatic Change.** 2019.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: John Wiley & Sons, 1998.

GOMES, P. S. Clima e Planejamento Ambiental Urbano: Estudo Preliminar. **Paisagem Ambiente: ensaios.** n. 23, p. 42-49. 2007.

GONÇALVES, N. M.S. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MENDONÇA, F de A.; MONTEIRO, C. A. F. (Orgs.). **Clima Urbano.** 192 p. São Paulo: Contexto. 2003.

GRIMMOND, C. S. B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. **Theoretical and applied climatology,** v. 84. p. 3-22. 2006.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space.** 1984.

HUANG K.; LENG J.; XU Y.; LI X.; CAI M. Facilitating urban climate forecast in rapidly urbanizing regions with land-use change modeling. **Urban Climate.** v. 36, p. 100806. 2021

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. [Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010]. Brasília, 2018. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 01 de dezembro de 2022

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. Tradução Carlos S. Mendes Rosa; Revisão da tradução Maria Estela Heider Cavalheiro; Revisão técnica Cheila Aparecida Gomes Bailão. – 3 ed. – São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2011. – (Coleção cidades). 1961. ISBN 978-85-7827-421-4.

JAMEI, E.; RAJAGOPALAN, P.; SEYEDMAHMOUDIAN, M.; JAMEI, Y. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1002–1017, 2016.

JOHNSON D. Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, UK. **J Climatol**. v. 5, p. 221-5. 1985.

KABANO P.; LINDLEY S.; HARRIS A. Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. **Landscape and Urban Plannig**. V. 206, p. 103989. 2021.

KOTHARKAR R.; BAGADE A. Evaluating urban heart island in the critical local climate zones of an Indian. **Landscape and Urban Planning**. 2018a

KOTHARKAR R.; BAGADE A. Local Climate Zone Classification for Indian Cities: A case study of Nagpur. **Urban Climate**. 2018b

KOTHARKAR R.; BAGADE A.; RAMESH A. Assessing urban drivers of canopy layer urban heat island: A numerical modeling approach, **Landscape and Urban Planning**, v. 190, p. 103586, 2019.

KOTHARKAR R.; BAGADE A.; SINGH P. R. A systematic approach for urban heat island mitigation strategies in critical local climate zones of an Indian city. **Urban Climate**, v.34, p. 100701, 2020.

KOTHARKAR R.; GHOSH A., KOTHARKAR V. Estimating summertime heat stress in a tropical Indian city using Local Climate Zone (LCZ) framework. **Urban Climate**, v. 36, p. 100784, 2021.

LAU K. K.-L.; CHUNG S. C.; REN C. Outdoor thermal comfort in different urban settings of sub-tropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification. **Building and Environment**. v. 154, p. 227-238. 2019.

LI, N.; WANG, B.; YAO, Y.; CHEN, L. ZHANG, Z. Thermal contribution of the Local Climate Zone and its spatial distribution effect on land surface temperature in different macroclimate cities. **Remote Sensing**. 2022.

LYNCH, K. **The Image of the City**. MIT Press. 1960.

LUCENA, A. J. Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. **Revista Continentes**. Ano 2, n.2, 32p. 2013.

LUO, F.; YANG, Y.; ZONG, L.; BI, X. The interactions between urban heat island and heat waves amplify urban warming in Guangzhou, China: Roles of urban ventilation and local climate zones. **Frontiers in Environmental Science**. 2023.

MACEIÓ, **Lei Municipal Nº 5.593**, de 08 de fevereiro de 2007. Institui o código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Disponível em: <[https://www.sedet.maceio.al.gov.br/servicos/pdf/codigo\\_edificacoes/00\\_lei\\_municipal\\_5593.pdf](https://www.sedet.maceio.al.gov.br/servicos/pdf/codigo_edificacoes/00_lei_municipal_5593.pdf)> Último acesso em 17 de novembro de 2022.

MEGDA, O. R. **Identificação de ilhas de calor urbano em Cidade de porte médio**: Proposta metodológica adaptada às zonas climáticas locais – LCZS. Tese de Doutorado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. 2020.

MELO, M. L. **Proposta de Zonas Morfoclimáticas Locais para área urbana do Distrito Federal – Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade de Brasília. 2022.

MENDONÇA, F. **Clima e Planejamento urbano em Londrina**. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do campo termo - higrométrico. In: MONTEIRO, C.A.F; MENDONÇA, F. Clima urbano. São Paulo: Contexto, p.93-120. 2003.

MONTEIRO, E. Z.; PINA, S. A. M. G.; FREIRE, R. A.; TURCZYN, D. T. O estudo da morfologia urbana na Região Metropolitana de Campinas. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. 2020.

MONTEIRO, V. S. **Zonas Climáticas Locais e a relação com a morfologia urbana**. Estudo de caso: Campinas/SP. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia da Pontifícia. Universidade Católica de Campinas. PUC-Campinas. 2018.

MORRIS, K. I.,SALLEHB, S. A.; CHANA, A.; OOI, M C. G.; ABAKR Y. A.; OOZEER, M.Y.; DUDA, M. Computational study of urban heat island of Putrajaya, Malaysia. **Sustainable Cities and Society**. 2015.

MUGHAL M. O.; LI X.-X.; NORFORD L. K. Urban heart island mitigation in singapore: Evaluation using WRF/ multilayer urban canopy model and local climate zones. **Urban Climate**. v. 34, p. 100714. 2020.

MUGHAL, M. O.; LI, X.-X.; YIN, T.; MARTILLI, A.; BROUSSE, O.; DISSEGNA, M. A.; NORFORD, L. K. High- resolution, multilayer modeling of Singapore's urban climate incorporating local climate zones. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 124, 7764–7785. 2019.

NAKATA-OSAKI, C. M. **Adaptação de um modelo simplificado para verificação da influência da geometria urbana na formação de ilha de calor noturna**. Tese (Doutorado em

Engenharia Urbana). Departamento de Engenharia Civil. Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016a.

NAKATA-OSAKI, C. M.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. Impacto da geometria do cânion urbano na intensidade de ilha de calor noturna: análise através de um modelo simplificado adaptado a um SIG. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 73-87. 2016b.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Co. 2nd edn. 1987.

OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: comparison of scale model and field observations. **Journal of Climatology**, v. 1, n. 1/4, p. 237-254. 1981.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theoretical and Applied Climatology**. 2006.

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Buildings**, 11(1-3), 103–113. 0. 1988

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108. P. 1-24. 1982.

OLIVEIRA, P. M. P. **Cidade Apropriada ao Clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Brasília, Ed. UnB (textos universitários), 1988.

OLIVEIRA, V. **Urban Morphology: An Introduction to the Study of the Physical Form of Cities**. 2016.

PACIFICI, M.; RAMA, F.; MARINS, K. R. C. Analysis of temperature variability within outdoor urban spaces at multiple scales. **Urban Climate**. v. 27, p. 90-104. 2019.

PACIFICI, M. **Urban Morphology and Climate: field assessment and numerical modeling of interactions**. Dissertation (PhD of Science) – Engineering School. Unuversity of São Paulo. 2019.

PEREIRA, C. T.; MASIERO, É.; BOURSCHEIDT, V. Socio-spatial inequality and its relationship to thermal (dis)comfort in two major Local Climate Zones in a tropical coastal city. **International Journal of Biometeorology**. 2021.

PEREIRA, N. H. G.; BATISTA JR., S. L.; KRÜGER, E. Geração de estratégias bioclimáticas para edificações em função de diferentes zonas climáticas locais de uma metrópole. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. XV ENCAC. Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. XI ELACAC**. João Pessoa. 2019.

PERERA, N. G. R.; EMMANUEL, R. A. “Local climate zone” based approach to urban planning in colombo, Sri Lanka. **Urban Climate**. 2016.

POKHREL, R.; RAMÍREZ-BELTRAN, N. D.; GONZÁLEZ, J. E. On the assessment of alternatives for building cooling load reductions for a tropical coastal city. **Energy & Buildings**. v. 182, p. 131-143. 2019.

- PUGH, T. A. M.; A. R. MACKENZIE; J. D. WHYATT, AND C. N. HEWITT. The effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. **Environmental Science & Technology**, v. 46, p. 7692-7699. 2012. DOI: 10.1021/es300826w
- REN, C.; CAI, M.; LI, X.; ZHANG, L.; WANG, R.; XU Y, NG E. Assessment of local climate zone classification maps of cities in China and feasible refinements. **Scientific Reports**. 2019.
- RIBEIRO, M. C. A.; PINTON, L. de G.; CARDOSO, R. dos S.; AMORIM, M. C. de C. T. Spatil and temporal dynamics of the urban heat island effect in a small Brazilian City. **Geographical Reasearch**. 2022.
- RIZWAN, A. M., DENNIS, Y.C; LIU, C. A review on the generation. determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**. Tokyo. v. 20, n. 1, p. 120–128. 2008. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- ROMERO, M. A. B. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 2001.
- RORIZ, M. Mapeamento e análise de micro-climas urbanos. In: **VII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Anais do VII ENCAC, 2003.
- SAILOR, D. J.; LU, L. A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. **Atmospheric Environment**. v. 38, n. 17, p. 2737-2748. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.034>.
- SANTAMOURIS, M. Cooling the cities—A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682-703. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- SHARMA, R.; HANS, H.; DIRK, L.; RIDDER, K. Application of UrbClim for an Asian tropical city – The case of Delhi. **VITO – Flemish Institute for Tecnological Research**, Mol, Belgiu. 2016.
- SHARMA, R.; HANS, H.; DIRK, L.; RIDDER, K. Urban heat island and future climate change – Implications for Delhi’s Heat. **J Urban Health**. 2018.
- SILVA, B. G. **Simulação Computacional de Zonas Climáticas Locais do Distrito Federal: A Contribuição Da Vegetação Intraurbana**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. 2020
- SIMÕES, N. A. V. **Classificação do clima local de sítios urbanos de Feira de Santana**. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade Estadual de Feira de Santana. 2017.
- SINGH, N.; SINGH, S.; MALL, R. K. Urban ecology and human health: implications of urban heat island, air pollution and climate change nexus. **Urban Ecology**. p. 317-334. 2020. Acesso em 23/01/2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00017-3>.

SKARBIT N, GÁL T. Projection of intra-urban modification of night-time climate indices during the 21st century. Hung. **Geograph. Bull.** 2016. 62: 181–193. 2016

SKARBIT, N.; STEWART, I. D.; UNGER, J., GÁL, T. Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the ‘local climate zones’ of Szeged, Hungary. **International Journal of Climatology**. v.37, p. 582–596. 2017.

SOBRINHO, O. M. **Estudo numérico dos efeitos das zonas climáticas locais e infraestruturas verdes nas variáveis atmosféricas para a região metropolitana de londrina**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. 2021.

SOEIRA, M. R. C. **A relação entre o fator de visão do céu e a temperatura do ar em diferentes Zonas Climáticas Locais**. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia da Pontifícia. Universidade Católica de Campinas. PUC-Campinas. 2018.

SOUZA, L. C.; TENTE, C. M.; GIUNTA, M. B.; NAKATA, C. M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 155-167, 2010.

SOUZA, C. A.; FILHO, A. C. P.; GUARALDO, E. Estudo Científico sobre Ilhas de Calor Urbanas e Zonas Climáticas Locais. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. XV ENCAC. Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. XI ELACAC**. 2019.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Vancouver, p. 1879-1900, 2012.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island**. Thesis (Doctor of Philosophy). The Faculty of Graduate Studies, The University of British Columbia. Vancouver, 2011.

STEWART, I. D.; OKE, T. R.; KRAYENHOFF, E. S. **Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations**. *International Journal of Climatology*. v. 34, p. 1062–1080. 2014.

SVENSSON, M. K. **Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences**. *Meteorol Appl.* v. 11, p. 201-11. 2004.

TEOBALDO NETO, A. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá/MT**. 2019.

THOMAS, G.; SOOSEN, S. M.; ZACHARIAH, E. J. Urban climate and local climate zone classification in the city of Kochi in India. **International Conference on Energy and Environment**. 2020. <https://doi.org/10.1063/5.0029887>

WALLE, J. V.; BROUSSE, O.; ARNALSTEEN, L.; BYARUGABA, D.; DDUMBA, D. S.; DEMUZERE, M.; LWASA, S.; NSANGI, G.; SSEVIIRI, H.; THIERY, W.; VANHAEREN, R.; WOUTERS, H.; LIPZIG, N. P. M. V. Can local fieldwork help to represent intra-urban

variability of canopy parameters relevant for tropical African climate studies?. **Theoretical and Applied Climatology**. 2021.

WANG R.; CAI M.; REN C.; BECHTEL B.; XU Y.; NG E. Detecting multi-temporal land cover change and land surface temperature in Pearl River Delta by adopting local climate zone. **Urban Climate**, v. 28, p. 100455, 2019.

WANG, R.; REN, C.; XU, Y.; KA-LUN LAU K.; SHI, Y. Mapping the Local Climate Zones of Urban Areas by GIS-based and WUDAPT Methods: A Case Study of Hong Kong. **Urban Climate**. 2017.

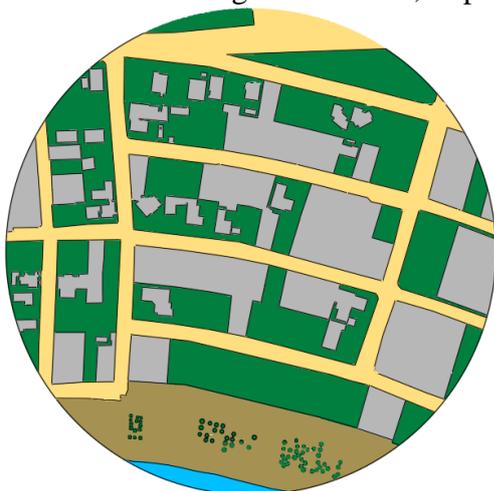
WERNECK, D.; AZEVEDO, E.; ROMERO, M. Estudo do aquecimento urbano com método de transecto móvel e sensoriamento remoto. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **XV ENCAC. Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. XI ELACAC**. 2019.

## APÊNDICE A

### Cálculo dos parâmetros morfológicos (a. Relação H/W e b. Porcentagem edificada, impermeável e permeável)

#### Ponto 01 (Guaxuma):

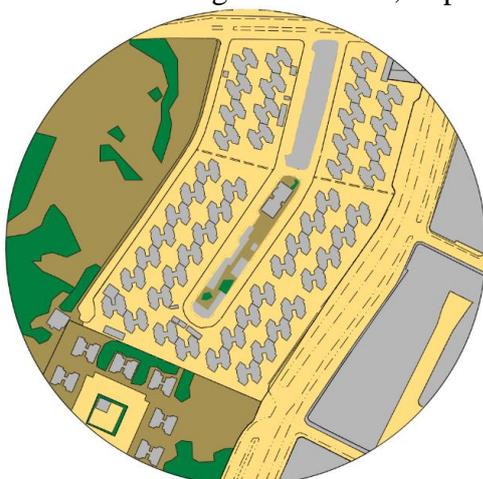
- Relação H/W:  $\frac{6}{10} = 0,6$
- Porcentagem edificada, impermeável e permeável:



	Área permeável	59.360,96 m <sup>2</sup>	47,2379%
	Área impermeável	28.568,37 m <sup>2</sup>	22,7339%
	Área edificada	37.734,37 m <sup>2</sup>	30,0280%
	Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

#### Ponto 02 (Jacarecica):

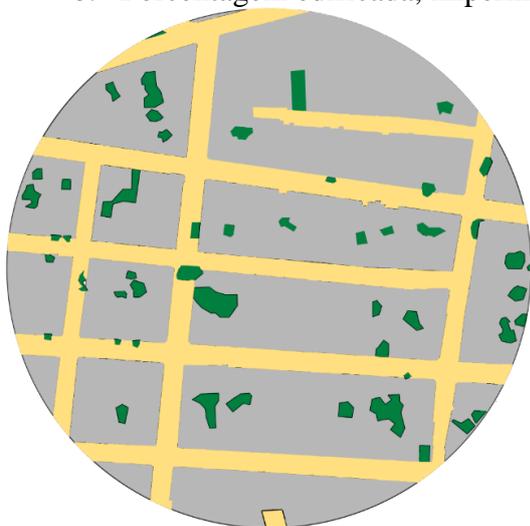
- Relação H/W:  $\frac{12}{10} = 1,2$
- Porcentagem edificada, impermeável e permeável:



	Área permeável	36.212,8 m <sup>2</sup>	28,8172%
	Área impermeável	54.825,26 m <sup>2</sup>	43,6285%
	Área edificada	34.625,64 m <sup>2</sup>	27,5542%
	Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 03 (Ponta Grossa):**

- Relação H/W:  $\frac{3}{12} = 0,25$
- Porcentagem edificada, impermeável e permeável:



	Área permeável	5.694,98 m <sup>2</sup>	4,5319%
	Área impermeável	32.369,71 m <sup>2</sup>	25,7589%
	Área edificada	87.599,01 m <sup>2</sup>	69,7090%
	Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 04 (Santa Amélia – Medeiros Neto):**

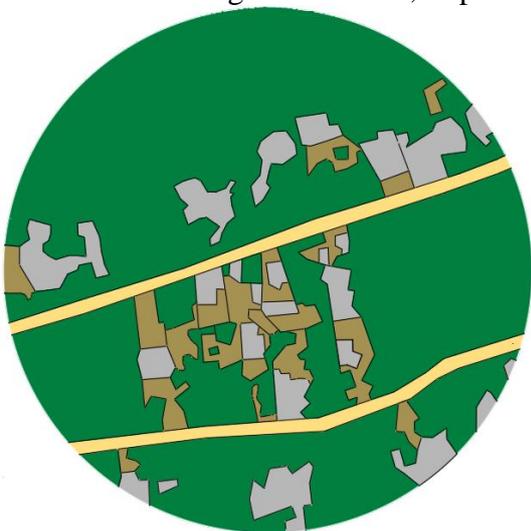
- Relação H/W:  $\frac{12}{15} = 0,8$
- Porcentagem edificada, impermeável e permeável:

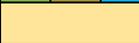


	Área permeável	24.701,38 m <sup>2</sup>	19,6567%
	Área impermeável	54.742,50 m <sup>2</sup>	43,5626%
	Área edificada	46.219,82 m <sup>2</sup>	36,7805%
	Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 05 (Santa Amélia – Chácara da Lagoa):**

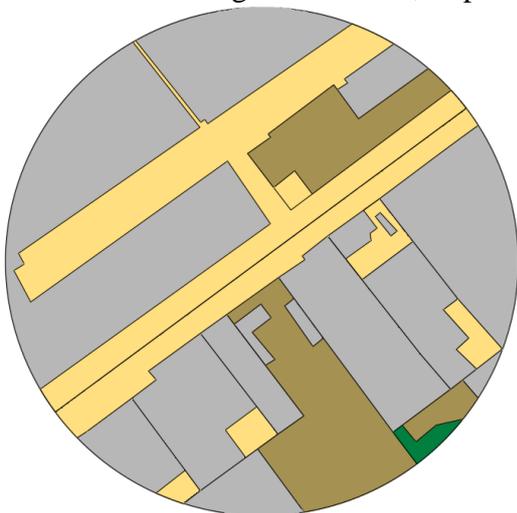
- a. Relação H/W:  $\frac{4}{8} = 0,5$   
 b. Porcentagem edificada, impermeável e permeável:

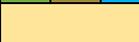


			Área permeável	103.313,24 m <sup>2</sup>	82,2140%
			Área impermeável	7.470,53 m <sup>2</sup>	5,9448%
			Área edificada	14.879,93 m <sup>2</sup>	11,8410%
			Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 06 (Tabuleiro dos Martins):**

- c. Relação H/W:  $\frac{10}{12} = 0,83$   
 d. Porcentagem edificada, impermeável e permeável:

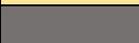


			Área permeável	19.125,02 m <sup>2</sup>	15,2192%
			Área impermeável	32.228,91m <sup>2</sup>	25,6469%
			Área edificada	74.309,77 m <sup>2</sup>	59,1338%
			Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 07 (UFAL):**

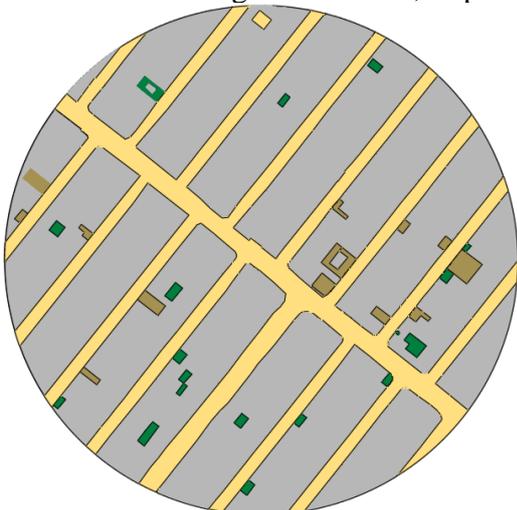
- Relação H/W:  $\frac{4}{7} = 0,57$
- Porcentagem edificada, impermeável e permeável:



			Área permeável	84.317,57 m <sup>2</sup>	67,0977%
			Área impermeável	26.799,92 m <sup>2</sup>	21,3107%
			Área edificada	14.556,21m <sup>2</sup>	11,5914%
			Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 08 (Benedito Bentes):**

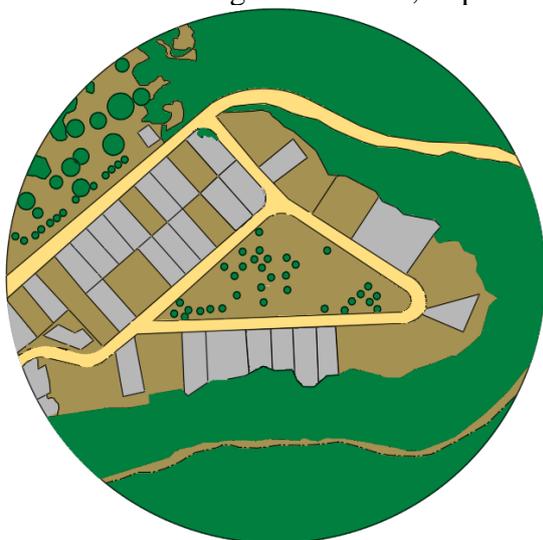
- Relação H/W:  $\frac{5}{8} = 0,62$
- Porcentagem edificada, impermeável e permeável:

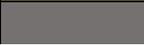
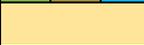
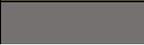


			Área permeável	3.084,33 m <sup>2</sup>	2,4544%
			Área impermeável	30.289,44 m <sup>2</sup>	24,1035%
			Área edificada	92.289,93 m <sup>2</sup>	73,4419%
			Área total	m <sup>2</sup>	100%

**Ponto 09 (Serraria – Reserva do Vale):**

- a. Relação H/W:  $\frac{6}{10} = 0,6$
- b. Porcentagem edificada, impermeável e permeável:



			Área permeável	97.286,99 m <sup>2</sup>	77,4185%
			Área impermeável	10.563,31 m <sup>2</sup>	8,4060%
			Área edificada	17.813,34 m <sup>2</sup>	14,1754%
			Área total	125.663,70 m <sup>2</sup>	100%

## APÊNDICE B

### Determinação dos valores de Z0 dos pontos amostrais para definição da classe de rugosidade

**Tabela 7** - Valores dos Pontos Amostrais para determinação da classe da Rugosidade

Ponto	H méd.	W méd.	L méd	C méd	A*(H med x L med)	A'(L med x C med)	Z0
P01	6	10	14	20	84	280	0,9
P02	12	10	8	8	96	64	9
P03	3	12	5	20	15	100	0,025
P04	12	15	9	7	108	63	10,28
P05	4	8	15	20	60	300	0,4
P06	10	12	30	60	300	1800	0,83
P07	4	7	20	20	80	400	0,4
P08	5	8	13	14	65	182	0,89
P09	6	10	15	30	90	450	0,6

Legenda:  
H méd. = altura média das edificações (m);  
W méd. = largura média da via medida de face à face das edificações (m);  
L méd. = largura média das edificações (m);  
C méd. = comprimento médio das edificações (m);  
A\* = área média da fachada voltada ao eixo (m<sup>2</sup>);  
A' = área média ocupada das edificações (m<sup>2</sup>);  
Z0 = comprimento de rugosidade (m).

Fonte: Elaboração própria (2022)