IMPASSES DA CLASSIFICAÇÃO DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ/AL

Luiza Maria Cavalcante da Silva (1); Christiane Alves Araújo (2); Ricardo Victor Rodrigues Barbosa (3)
(1) Graduanda, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, luiza.silva@fau.ufal.br
(2) Arquiteta e Urbanista, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, christiane.araujo@fau.ufal.br
(3) Doutor, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, rvictor@fau.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Grupo de Estudos da Atmosfera Climática Urbana, Av. Lourival de Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió-AL, 57072-900, Tel.: +55 (82) 3214 1283

RESUMO
O método de Zonas Climáticas Locais (LCZ) propõe uma classificação do tecido urbano considerando as tipologias construídas e a cobertura do solo para categorizar as condições microclimáticas de diferentes estruturas urbanas. Contudo, esse método foi desenvolvido a partir da realidade de cidades em países desenvolvidos, necessitando de adequações para realidade de países latino-americanos. Este estudo teve como objetivo discutir os processos metodológicos para classificação de LCZs, categorizando áreas na cidade de Maceió/AL, no contexto de um país em desenvolvimento. Os procedimentos metodológicos incluíram a classificação de quatro áreas amostrais com base nas propriedades geométricas e de cobertura de superfície sugeridas pelos autores do método de classificação. Os resultados mostraram que a falta de um protocolo padrão pode levar a classificações equivocadas, destacando a necessidade de adaptação dos procedimentos metodológicos para a realidade das cidades brasileiras. Por fim, concluiu-se que a ausência de um protocolo padrão para o cálculo dos parâmetros indicados pode resultar em procedimentos subjetivos, colocando em risco a integridade da classificação por pesquisadores diferentes.

Palavras-chave: Clima urbano, Ilha de Calor Urbano, LCZ, morfologia urbana, planejamento urbano.

ABSTRACT
The Local Climate Zones (LCZ) method proposes a classification of urban fabric considering the built typologies and land cover to categorize the microclimatic conditions of different urban structures. However, this method was developed based on the reality of cities in developed countries, requiring adjustments for the reality of Latin American countries. This study aimed to discuss the methodological processes for LCZ classification, categorizing areas in the city of Maceió, Brazil, within the context of a developing country. The methodological procedures included the classification of four sample areas based on the geometric properties and surface cover suggested by the authors of the classification method. The results showed that the lack of a standardized protocol can lead to misclassifications, highlighting the need to adapt methodological procedures to the reality of Brazilian cities. Finally, it was concluded that the absence of a standardized protocol for calculating the indicated parameters can result in subjective procedures, jeopardizing the integrity of the classification by different researchers.

Keywords: Urban climate, Urban Heat Island, LCZ, urban morphology, urban planning.

1. INTRODUÇÃO

A morfologia urbana tem sido tema de estudos e reflexões frequentes, evidenciando diferentes realidades estruturais e condições de habitabilidade. As cidades são responsáveis por importantes mudanças ambientais globais e, simultaneamente, estão altamente expostas às consequências dessas mudanças, como o aumento do nível do mar e do calor urbano. Essas mudanças podem ser impulsionadas por variantes relacionadas à configuração e à estrutura urbana, que se transformam ao longo do tempo. Nesse contexto, Oliveira Borges et. al. (2022) destacam a importância da densidade construída na determinação do clima urbano.

Um dos fenômenos do clima urbano comumente relacionados às diferenças estruturais e de cobertura do solo é o efeito de Ilha de Calor Urbana (ICU). O fenômeno refere-se à variação de temperatura do ar e superficiais entre as áreas urbanas e seu entorno rural imediato (GARTLAND, 2011), observado pela primeira vez por Luke Howard, em 1818, na cidade de Londres, a partir do aquecimento do ar mais acentuado nas áreas centrais da cidade industrializada. A partir da década de 1950, com o advento dos registros de temperatura, o fenômeno foi mais estudado e com observações mais aprimoradas, passando a ser definido como uma diferença térmica entre áreas urbanas e rurais, onde as áreas urbanas apresentam temperaturas mais elevadas em relação às áreas rurais circundantes, devido principalmente às atividades humanas, que geram calor e alteram a cobertura vegetal e a paisagem urbana (OKE, 1987).

Para observar essas diferenças, diversos estudos foram conduzidos, como os de Chandler (1965), Auer (1978), Ellefsen (1991), Oke (2004, 2008), Loridan e Grimmond (2011), que destacam a importância da relação entre clima e cidade. Esses estudos foram fundamentais para o desenvolvimento do método de Zonas Climáticas Locais (LCZ), proposto por Stewart e Oke (2012), que consiste em uma classificação morfológica do tecido urbano, considerando tipologias construídas e de cobertura do solo, com o objetivo de detalhar as respostas climáticas em diferentes estruturas urbanas (FERREIRA, FERRETTO & DUARTE, 2023).

O processo de classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ) começa a partir da identificação de uma região com cobertura uniforme de superfície, estrutura, material e atividade humana que se estenda em escala horizontal, associada a ambientes homogêneos ou ecossistemas de cidades, biomas naturais e terras agrícolas ao longo do ano. No entanto, áreas muito heterogêneas não são recomendáveis para estudos, pois apresentam variação nos valores localmente representativos de suas propriedades de superfície e, portanto, são categorizadas como "não classificadas". É importante destacar que, como as classes LCZs originalmente propostas não conseguem descrever todas as situações urbanas e rurais existentes, pode ser necessário combinar as classes para melhor descrever as diferenças nos tecidos urbanos (STEWART; OKE, 2012).

A classificação das LCZs é composta por 17 zonas padrões que se dividem em "tipos construídos" de 1 a 10 e "tipos de cobertura do solo" de A a G (Tabela 2 em Stewart e Oke (2012)). A estrutura das LCZs é apoiada por dados de modelagem observacional e numérica. Para garantir que a porção ajustada de sua camada limite interna esteja dentro da zona e não se sobreponha às LCZs circundantes de estruturas diferentes, cada LCZ deve ter um diâmetro mínimo de 400-1.000 m, ou seja, um raio de 200-500 m (STEWART; OKE, 2012). Os tipos de zonas são categorizados por Stewart e Oke (2012) conforme os parâmetros morfológicos, de cobertura de superfície, térmicos, radiativas e metabólicas (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros para classificação das LCZs (STEWART; OKE, 2012, adaptado pelos autores).

	Propriedades geométricas e de cobertura de superfície							**Propriedades térmicas, radiativas e metabólicas**		
LCZ	FVC[1]	H/W[2]	%Edif.[3]	%Imp.[4]	%Perm.[5]	Alt. Rug.[6]	Cls. Rug.[7]	Admissão de superf.	Albedo superf.	Prod. Calor Antrop.
1	0,2-0,4	>2	40-60	40-60	<10	>25	8	1.500-1.800	0,10-0,20	50-300
2	0,3-0,6	0,75-2	40-70	30-50	<20	10-25	6-7	1.500-2.200	0,10-0,20	<75

(Continua)

[1] FVC (Fator de Visão do Céu): refere-se à 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.

[2] H/W: refere-se à razão entre a altura de edifícios e largura da via.

[3] Fração de porcentagem de área construída e coberta.

[4] Fração de porcentagem de área construída e descoberta.

[5] Fração de porcentagem de uma área com vegetação ou solo natural que permita a percolação da água.

[6] A Altura da Rugosidade é calculada por meio da média geométrica de alturas dos elementos de rugosidade (metros), considerando altura dos edifícios, árvores e plantas.

[7] A Classe de Rugosidade é obtida a partir do cálculo do comprimento de rugosidade (Z_0), que considera a média das alturas dos elementos existentes, além da área de fachada e a área ocupada pelas edificações.

(Continuação)

3	0,2-0,6	0,75-1,5	40-70	20-50	<30	3-10	6	1.200-1.800	0,10-0,20	<75
4	0,5-0,7	0,75-1,25	20-40	30-40	30-40	>25	7-8	1.400-1.800	0,12-0,25	<50
5	0,5-0,8	0,3-0,75	20-40	30-50	20-40	10-25	5-6	1.400-2.000	0,12-0,25	<25
6	0,6-0,9	0,3-0,75	20-40	20-50	30-60	3-10	5-6	1.200-1.800	0,12-0,25	<25
7	0,2-0,5	1-2	60-90	<20	<30	2-4	4-5	800-1.500	0,15-0,35	<35
8	>0,7	0,1-0,3	30-50	40-50	<20	3-10	5	1.200-1.800	0,15-0,25	<50
9	>0,8	0,1-0,25	10-20	<20	60-80	3-10	5-6	1.000-1.800	0,12-0,25	<10
10	0,6-0,9	0,2-0,5	20-30	20-40	40-50	5-15	5-6	1.000-2.500	0,12-0,20	>300
A	<0,4	>1	<10	<10	>90	3-30	8	Desconhecido	0,10-0,20	0
B	0,5-0,8	0,25-0,75	<10	<10	>90	3-15	5-6	1.000-1.800	0,15-0,25	0
C	0,7-0,9	0,25-1	<10	<10	>90	<2	4-5	700-1.500	0,15-0,30	0
D	>0,9	<0,1	<10	<10	>90	<1	3-4	1.200-1.600	0,15-0,25	0
E	>0,9	<0,1	<10	>90	<10	<0,25	1-2	1.200-2.500	0,15-0,30	0
F	>0,9	<0,1	<10	<10	>90	<0,25	1-2	600-1.400	0,20-0,35	0
G	>0,9	<0,1	<10	<10	>90	-	1	1.500	0,02-0,10	0

LCZ: Zona Climática Local
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
Admissão de superf.: Admissão de superfície
Albedo superf.: Albedo de superfície
Prod. Calor. Antrop.: Produção de Calor Antropogênico

É relevante ressaltar que os estudos e as medições que fundamentaram a concepção das LCZ foram, em sua maioria, realizados no contexto da América do Norte, do Norte da Europa e do Norte da Ásia (FERREIRA; FERRETTO; DUARTE, 2023). A partir disso, é cabe destacar que a expansão da malha urbana em cidades latino-americanas, incluindo o Brasil, ocorre frequentemente de forma espontânea e desordenada, ignorando, muitas vezes, a legislação edilícia. Esse processo resulta em uma malha urbana bastante heterogênea, mesclando extremos de alta densidade e compactação e baixa densidade e permeabilidade em áreas muito próximas. O desenvolvimento de áreas informais, as ocupações irregulares e a falta de planejamento urbano adequado contribuem para a formação de áreas degradadas e carentes de infraestrutura, conformando uma estrutura urbana complexa, se concentrando principalmente nas periferias das cidades. Estes fatores podem interferir na obtenção das propriedades que categorizam as LCZs, ao passo que demonstram uma necessidade de um padrão de extração desses dados no contexto das cidades localizadas em países em desenvolvimento.

A classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ) nas cidades brasileiras tem sido dificultada não apenas pela heterogeneidade das áreas urbanas, mas também pela falta de padronização e de explicação clara da metodologia utilizada para sua classificação. Essa incompatibilidade de comparação entre zonas de diferentes localidades pode levar a erros na análise climática e prejudicar a implementação de políticas públicas voltadas para a melhoria do clima urbano. Em um estudo recente, Araújo e Barbosa (2021) identificaram diferentes procedimentos para a classificação das LCZs, incluindo o uso de imagens de satélite e ferramentas como o World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT), bem como técnicas de interpretação visual no aplicativo ArcGIS. Os autores evidenciam que a diversidade de metodologias utilizadas indica a necessidade de um maior esforço de padronização e uniformização na classificação das LCZs nas cidades brasileiras.

A partir do exposto, buscou-se testar a classificação de áreas urbanas em Zonas Climáticas Locais (LCZ) utilizando os procedimentos metodológicos propostos por Oke e Stewart (2012), este estudo se baseia nos autores do método e em estudos brasileiros que utilizaram cálculos dos parâmetros geométricos e de cobertura da superfície da área urbana para realizar a classificação. Para isso, foram selecionadas quatro áreas amostrais na cidade de Maceió/AL como estudo de caso para compreender a coleta de dados necessária para classificar as LCZs e discutir os procedimentos para classificação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi testar e discutir o processo metodológico de classificação das Zonas Climáticas Locais, desenvolvido por Stewart e Oke (2012), a partir de estudo de caso em quatro áreas amostrais na cidade de Maceió/AL.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa foram realizados em duas etapas. Inicialmente foi realizada a identificação de quatro áreas amostrais na malha urbana da cidade de Maceió/AL a partir de imagens de satélite do Google Earth Pro, tendo em vista os padrões morfológicos de cada LCZ. Em seguida, foi feita a classificação desses pontos a partir dos parâmetros geométricos e de cobertura de superfície, recomendados por Stewart e Oke (2012).

3.1. Identificação dos pontos

As áreas amostrais foram selecionadas a partir da interpretação visual da malha urbana de Maceió (Figura 1), utilizando imagens de satélite do Google Earth Pro (2023). As áreas amostrais são caracterizadas por expor espaços homogêneos em um raio de 200 m, conforme proposto por Stewart e Oke (2012). Importante pontuar que a heterogeneidade da malha urbana dificultou a identificação dessas áreas dentro do diâmetro mínimo recomendado, como já previram os autores do método.

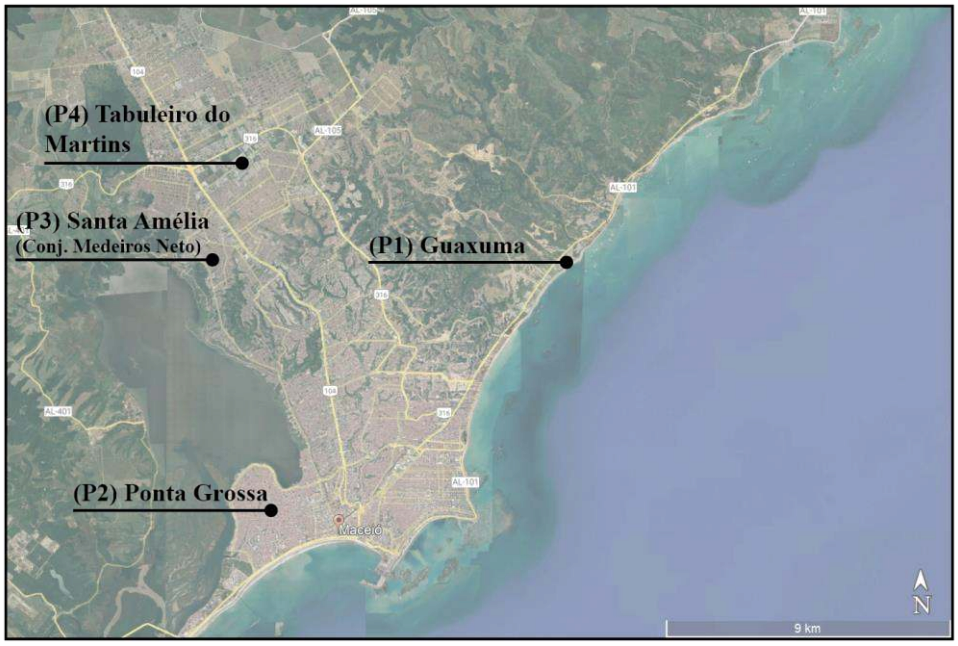


Figura 1 – Malha urbana de Maceió com a localização dos pontos selecionados (Autores, 2023).

Para este estudo foram selecionados quatro pontos em bairros distintos da cidade. O Quadro 1 apresenta as características presentes em cada localidade.

Quadro 1 – Características por área amostral (Autores, 2023).

	Bairro	Imagem da área (diâmetro de 400 m)	Uso do solo predominante	Características gerais da área
P1	Guaxuma		Residencial unifamiliar	Baixa densidade de construção com casas que variam de 1 a 2 pavimentos. Rua de baixo tráfego de veículos e pedestres. Média a alta quantidade de vegetação. Pavimentação asfáltica e áreas permeáveis.

	Bairro	Imagem da área (diâmetro de 400 m)	Uso do solo predominante	Características gerais da área
P2	Ponta Grossa		Residencial unifamiliar	Alta densidade de construção com casas que variam de 1 a 2 pavimentos. Rua de baixo tráfego de veículos e pedestres. Baixa quantidade de vegetação. Pavimentação asfáltica e solo impermeável.
P3	Santa Amélia (Conj. Medeiros Neto)		Residencial unifamiliar	Média densidade de construção (alvenaria e anexos) com prédios de 4 pavimentos. Rua de médio tráfego de veículos e pedestres. Baixa quantidade de vegetação. Pavimentação em paralelepípedo e solo impermeável.
P4	Tabuleiro do Martins		Edificações comerciais	Alta densidade de construção composta por indústrias. Rua de alto tráfego de veículos e médio tráfego de pedestres. Baixa quantidade de vegetação. Pavimentação asfáltica e poucas áreas permeáveis.

3.2. Classificação dos parâmetros

Para uma análise mais precisa de cada classe LCZ, é possível identificá-las na malha urbana de maneira visual e relacioná-las quantitativamente com os valores previstos por Stewart e Oke (2012), que foram listados na Tabela 1.

Araújo e Barbosa (2021), observaram haver diferenças nos métodos utilizados para classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs), bem como nas variáveis mais relevantes que são associadas à morfologia da área em questão, como, por exemplo, a relação H/W, a altura média da rugosidade e a superfície construída. Portanto, neste estudo foram empregadas propriedades geométricas e de cobertura de superfície para a classificação das LCZs. No Quadro 2, apresenta como cada parâmetro foi mensurado para a classificação das LCZs neste estudo.

Quadro 2 – Conceitos e obtenção dos parâmetros (Autores, 2023).

Parâmetro	Conceito	Forma de obtenção
FVC	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.	Fotografia com lente olho de peixe + *Software* Rayman
Relação H/W	Razão entre a altura de edifícios e largura da via.	Google Street View + Confirmação em campo
% Área edificada	Fração de porcentagem de área construída e coberta.	Google Earth Pro + *Software* AutoCAD + Confirmação em campo
% Área impermeável	Fração de porcentagem de área construída e descoberta.	Google Earth Pro + *Software* AutoCAD + Confirmação em campo
% Área permeável	Fração de porcentagem de uma área com vegetação ou solo natural que permita a percolação da água.	Google Earth Pro + *Software* AutoCAD + Confirmação em campo
Altura da rugosidade	É calculado por meio da média geométrica de alturas dos elementos de rugosidade (metros), considerando altura dos edifícios, árvores e plantas.	Google Street View + Confirmação em campo
Classe de Rugosidade do Terreno	É obtido a partir do cálculo do comprimento de rugosidade (Z_0), que considera a média das alturas dos elementos existentes, além da área de fachada e a área ocupada pelas edificações.	Davenport et al. (2000)

Para o cálculo de Fator de Visão do Céu (FVC) foi realizada uma fotografia no centro geográfico de cada área de amostragem utilizando-se uma lente olho de peixe, modelo FC-E8 da marca Nikon, acoplada a uma câmera fotográfica digital, modelo Coolpix 4500, também da marca Nikon, a qual foi posicionada a uma altura de 1,10 m do solo, sobre um tripé metálico equipado com nível bolha e orientada para o Norte. Embora tenha havido diversidade de visibilidade do céu nos pontos amostrais escolhidos, apenas uma única fotografia foi submetida ao *software* RayMan 1.2 Pro que calculou a proporção de área do céu aberto e obstruído na imagem.

Para o cálculo da relação H/W foi feita a média geométrica das alturas dos edifícios e árvores e da largura da via. Para isso, foi escolhida a via do centro geográfico de cada área amostral, sendo considerado passeio e recuos frontais. As dimensões foram estimadas com base nas imagens do Google Street View.

O cálculo das áreas edificadas, impermeáveis e permeáveis foi realizado a partir da base cartográfica da cidade, fornecida pela Prefeitura Municipal, com auxílio do *software* AutoCAD® 2021. As áreas correspondentes aos três tipos de cobertura do solo foram delineadas por meio de hachuras, com base na sobreposição da imagem de satélite do Google Earth Pro (2022), juntamente com informações complementares obtidas por meio da verificação de frações do local. Em seguida, foi calculado o percentual correspondente a cada mancha, levando-se em consideração a área de amostragem total.

De acordo com Stewart (2011), o parâmetro de Altura da Rugosidade pode ser calculado a partir da média geométrica de alturas dos elementos de rugosidade (em metros). Considerou-se, então, as alturas de edifícios, árvores e plantas da rua central de cada área amostral.

A Classe de Rugosidade do Terreno deve ser calculada a partir do comprimento de rugosidade (Z_0), que considera, além da altura, a área de fachada e a área ocupada pelas edificações. O cálculo de Z_0 foi realizado com base em Nakata-Osaki, Souza e Rodrigues (2016), apresentada na Equação 1. Também foram utilizadas medidas da rua central das áreas amostrais.

$$Z_0 = 0{,}5\ Hméd\ \left(\frac{A^*}{A'}\right) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
Z_0 é o comprimento de rugosidade [m];
Hméd é a altura média das edificações da quadra urbana [m];
A* é a área média da fachada voltada ao centro/eixo do cânion urbano [m²];
A' é a área média ocupada por cada edificação da quadra urbana [m²].

A Figura 2 demonstra um modelo de cânion urbano com destaque das áreas de fachada e ocupação da edificação na quadra urbana consideradas para o cálculo de Z_0.

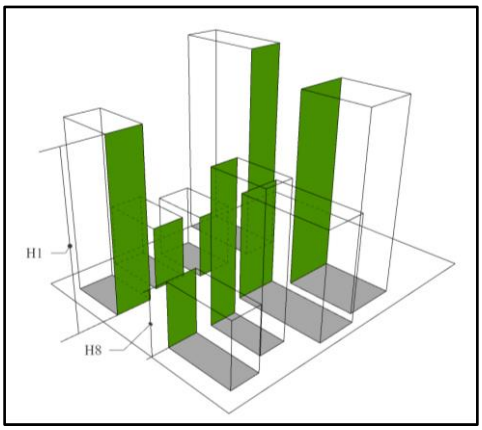


Figura 2 – Visão tridimensional do cânion urbano com destaque para as áreas consideradas para o cálculo do comprimento de rugosidade (NAKATA-OSAKI, SOUZA E RODRIGUES, 2016, adaptado pelos autores).

Após calculado o comprimento de rugosidade (Z_0), utiliza-se a classificação de Davenport et al. (2000) (Tabela 2), conforme recomendado por Stewart e Oke (2012), relacionando Z_0 de acordo com sua correspondência mais próxima para obtenção da Classe de Rugosidade.

Tabela 2 – Classificação da rugosidade do terreno (Davenport et al., 2000, adaptado pelos autores).

Classe de Davenport	**Comprimento da rugosidade Z_0 (m)**	**LCZ Correspondentes**
1. Oceano	0,0002	E, F, G
2. Suave	0,0005	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	≥ 2,0000	1, 4, A

4. RESULTADOS

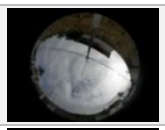
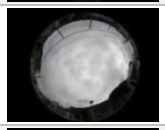
Após a análise do referencial teórico e aplicação da metodologia, foram obtidos os dados para classificação da Classe de Rugosidade do Terreno, uma vez que se faz necessário adotar um processo um pouco mais fragmentado para classificá-lo, quando comparado aos outros parâmetros, dispostos na Tabela 3. Em seguida, apresenta-se os dados obtidos de todos os parâmetros utilizados (Tabela 4), os quais são a principal fonte de consulta para categorizar as áreas amostrais de acordo com a sua Zona Climática Local correspondente.

Tabela 3 – Valores obtidos para cálculo de Z_0 (Autores, 2023).

	H méd.	W méd	L méd	C méd	A*(H med x L med)	A'(L med x C med)	Z_0
P1	6	10	14	20	84	280	0,9
P2	3	12	5	20	15	100	0,025
P3	12	15	9	7	108	63	10,28
P4	10	12	30	60	300	1800	0,83

H méd. = altura média das edificações (m);
W méd. = largura média da via medida de face a 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 (m²);
A' = área média ocupada das edificações (m²);
Z_0 = comprimento de rugosidade (m).

Tabela 4 – Valores das propriedades geométricas e de cobertura de superfície nos quatro pontos escolhidos (Autores, 2023).

Área amostral	FVC		H/W	%Edif.	%Imp.	%Perm.	Alt. Rug.	Cls. Rug.
(P1) Guaxuma		0.602	0,60	30,02	22,73	47,23	3,66	7
(P2) Ponta Grossa		0.716	0,25	69,70	25,75	04,53	2,44	3
(P3) Santa Amélia (Conj. Medeiros Neto)		0.666	0,80	36,78	43,50	19,65	7,0	8
(P4) Tabuleiro do Martins		0.691	0,83	59,13	25,64	15,21	7,45	7

A partir de todas as variáveis cruzadas com as classes LCZs propostas por Stewart e Oke (2012), foram identificadas quatro LCZs, sendo todas de tipologia construída. No Quadro 3 estão dispostas as áreas selecionadas e sua Zona Climática Local correspondente, originada pelo cruzamento dos dados obtidos.

Quadro 3 – Caracterização das quatro áreas amostrais classificadas em LCZs (Autores, 2023).

Área Amostral	Imagem da área (diâmetro de 400m)	Classificação da LCZ		
		Imagem	Nome	Descrição
(P1) Guaxuma			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.

Área Amostral	Imagem da área (diâmetro de 400m)	Classificação da LCZ		
		Imagem	Nome	Descrição
(P2) 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.
(P3) Santa Amélia (Conj. 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.
(P4) Tabuleiro dos Martins			LCZ 10	Estruturas industriais de baixo 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.

A partir da classificação descrita neste estudo, observou-se que os parâmetros obtidos para P1 e P2 correspondem à realidade da área urbana, tanto em termos de aspectos morfológicos quanto de análise visual da LCZ correspondente e do que é encontrado no local, permitindo classificá-los de forma adequada. Dessa forma, isso contribui para o conhecimento do conforto externo nessas regiões, possibilitando intervenções mais precisas e assertivas. Entretanto, cabe destacar que apesar de os pontos P3 e P4 terem sido originalmente classificados como LCZ 3 e 5, respectivamente, as características de construção e cobertura do solo dessas áreas indicam que a classificação adequada é LCZ 2 (P3) e LCZ 10 (P4). Esse fato sugere que a classificação das LCZs baseada exclusivamente nos resultados dos cálculos dos parâmetros morfológicos e sua posterior comparação com a tabela correspondente, sem uma análise crítica do pesquisador, pode levar a classificações equivocadas.

Assim, é importante ressaltar que, caso não tivessem sido realizadas visitas ao local ou se a cidade em questão não fosse conhecida pelos autores, poderiam ocorrer equívocos nos estudos urbanos e climáticos, o que poderia interferir em escalas como o planejamento urbano. Nesse sentido, são levantadas hipóteses de procedimentos imprecisos e da falta de um protocolo claro para a obtenção desses dados, conforme descrito por Stewart e Oke (2012).

Oliveira Borges et al. (2022) constataram a crescente adoção de novas metodologias apoiadas em tecnologias de sensoriamento remoto e dados secundários, que se mostraram eficazes na obtenção de resultados. No entanto, para que esses métodos possam ser aplicados de forma adequada, é necessário que haja uma padronização entre os pesquisadores quanto à escolha dos métodos utilizados na Classificação. Um exemplo disso é a obtenção das áreas edificadas, impermeáveis e permeáveis, que pode ser feita a partir de imagens de satélite e base cartográfica da cidade, como realizado neste estudo e, também, em Fernandes (2019) e Monteiro (2018).

Contudo, ainda é questionável propriedades como Fator do Céu Visível e relação H/W, pois seus conceitos direcionam a extração dos valores a partir de uma seção, deixando nebulosa a obtenção da média dessas propriedades para uma área de 200 m de raio. Nakata-Osaki, Souza e Rodrigues (2016) discorrem que a relação H/W pode acabar facultando uma simplificação da interpretação da geometria urbana nas cidades, visto que considera apenas um perfil bidimensional, homogêneo e infinito dos cânions urbanos. Dessa forma, o alcance dos valores dessas propriedades fica sujeita a decisão subjetiva e análise particular de cada aplicador.

Araújo e Barbosa (2021) também observaram a escolha das propriedades geométricas e de cobertura de superfície como mais pertinentes para a Classificação, por parte dos pesquisadores, suprimindo as propriedades térmicas, radiativas e metabólicas. Porém, os autores do método (STEWART; OKE, 2012) não previram esse

tipo de distinção. Além disso, há outras áreas do conhecimento que utilizam do método de Zonas Climáticas Locais para seus estudos, como geografia e saneamento ambiental, o que também pode ocasionar uma diversidade de procedimentos metodológicos (ARAÚJO; BARBOSA, 2021).

A aplicação do método demonstra a importância da compreensão dos parâmetros climáticos urbanos, principalmente em sua forma de obtenção, capaz de conceituar espaços com diferentes escalas. Dessa forma, uma vez que esse tipo de classificação é obtida, suas respostam podem condicionar aspectos da legislação urbanística de determinada localidade. Rossi (2012) assegura que parâmetros de ocupação urbana, como recuos entre edificações, densidade e altura das edificações, zoneamento, uso e ocupação do solo, podem minimizar ou maximizar o impacto ambiental nos centros urbanos. Assim, o planejamento se torna instrumento para mitigar alterações climáticas em nível local.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi exposto que a classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZs) é capaz de servir como base para estudos relacionados à malha urbana e às características morfológicas de áreas selecionadas das cidades, relacionadas às investigações sobre o clima urbano local. A metodologia proposta por Stewart e Oke (2012) permite compreender a estrutura da cidade e as variáveis climáticas, facilitando o planejamento e a proposição de ambientes externos adequados às suas necessidades, além de permitir o monitoramento das áreas urbanas, essencial para a formulação de políticas públicas e a alocação de investimentos.

Os resultados obtidos indicaram que, embora a Classificação de Zonas Climáticas Locais seja acurada em certas zonas, em outras pode não ser eficaz. Isso levanta questões sobre os métodos utilizados para extrair dados que fundamentam a Classificação, que podem depender das áreas estudadas e da visão subjetiva do pesquisador. A falta de um protocolo padronizado para a localização e quantidade de amostras das propriedades, como relação H/W, Fator do Céu Visível e altura da rugosidade, dificulta a especificação exata do valor correspondente ao parâmetro e pode levar a uma categorização equivocada. É importante destacar que a análise é realizada em áreas com raio mínimo de 200 m, e alguns parâmetros são avaliados de forma pontual e bidimensional, o que significa que apenas um ponto da área amostral pode estar representando o todo.

Além disso, também é fundamental considerar a influência das propriedades térmicas, radiativas e metabólicas no estudo do clima urbano, já que esses componentes podem contribuir para o desconforto térmico, embora, na maioria dos casos, não estão sendo considerados na Classificação de Zonas Climáticas Locais. Além disso, é necessário avaliar as metodologias para a obtenção dessas informações, pois elas são específicas para cada edificação e não há padronização de áreas com os mesmos materiais de construção e acabamentos.

Somado a isso, também se questiona a aplicação do método de classificação para uma cidade em sua totalidade, não só de pontos amostrais, pois sua metodologia tende a ser extensa e complexa e, por isso, com possibilidade de não conseguir categorizar toda a cidade, visto que há diversas regiões com áreas heterogêneas nas zonas urbanas brasileiras. Além disso, é importante ressaltar que o método não prevê classificação de áreas com aglomerados subnormais, como favelas, que é uma realidade de países em desenvolvimento. Havendo uma necessidade de adaptação do método a essas realidades.

Diante do exposto, este estudo procura trazer à tona a relevância da discussão sobre os processos metodológicos de Zonas Climáticas Locais, principalmente quando aplicado ao contexto de países em desenvolvimento. Pautado na aplicação do método, sugere que sejam desenvolvidos estudos que criem um protocolo metodológico para os parâmetros necessários à Classificação, visando contemplar as mais variadas estruturas urbanas e fomentar os estudos do clima urbano pautados no aprimoramento das cidades quanto ao conforto externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, C. A.; BARBOSA, R. V. R. Zonas Climáticas Locais: breve revisão da literatura em estudos de clima urbano no Brasil. In: Congresso Araguaiense de Ciências Exata, Tecnológica e Social Aplicada, 2021, Santana do Araguaia: **III CONARA**, 2021.

AUER, A. H. Correlation of land use and cover with meteorological anomalies**. J. Appl. Meteor.**, 17, 636–643. 1978.

CHANDLER, T. J. The Climate of London. Hutchinson, 292 pp. 1965.

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.

ELLEFSEN, R. Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energ. Buildings**, 15–16, 1025–1049. 1990/91.

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

FERREIRA, L. S.; FERRETTO, D.; DUARTE, D. H. S. **Mapeando a morfologia urbana: aplicações do método Local Climate Zones (LCZ) em diferentes escalas do projeto**. Pós FAU USP, São Paulo, v. 30, n. 56, p. e197563, jan. 2023. DOI: 10.11606/issn.2317-2762.posfauusp.2023.197563. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/197563.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LORIDAN, T.; GRIMMOND, C. S. B., Characterization of energy f lux partitioning in urban environments: Links with surface seasonal properties. **J. Appl. Meteor. Climatol.,** 51, 219–241. 2011.

MONTEIRO, V. S. **Zonas Climáticas Locais e a relação com a morfologia urbana.** Estudo de caso: Campinas/SP. 2018. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Universidade Católica de Campinas. São Paulo. 2018.

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. 2016.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** 2 ed. Routledge, New York, 1987.

OKE, T. R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **IOM Rep. 81**, WMO/TD-No. 1250, 47 pp. 2004.

OKE, T. R. Urban observations. Guide to meteorological instruments and methods of observation, **Part II of Observing System**s, 7th ed., WMO-No. 8, II- 11-1–II-11-25. 2008.

OLIVEIRA BORGES, V.; CARLOS NACIMENTO, G.; CELUPPI, M. C.; LÚCIO, P. S.; TEJAS, G. T.; GOBO, J. P. A. Zonas climáticas locais e as ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba,.v. 31, n. 18, p. 98–127, jul. 2022. DOI: 10.55761/abclima.v31i18.15755. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15755.

ROSSI, F. A. **Proposição de metodologia e de modelo preditivo para avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba**. Tese de Doutorado em Tecnologia. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR. 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, Timothy. R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL pela concessão de bolsa de Iniciação Científica (Projeto APQ2022031000066, Processo E:60030.0000000159/2022).