

Zonas Climáticas Locais: breve revisão da literatura em estudos de clima urbano no Brasil¹

Local Climate Zones: brief literature review on urban climate studies in Brazil

Zonas Climáticas Locales: breve revisión de la literatura sobre estudios climáticos urbanos en Brasil

Eixo temático: Arquitetura e Urbanismo – Conforto e Qualidade Ambiental

ARAÚJO, Christiane Alves¹; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues²

¹christiane.araujo@fau.ufal.br, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Brasil

²rvictor@fau.ufal.br, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Brasil

Resumo: *O sistema de classificação em Zonas Climáticas Locais (LCZs) baseia-se, especialmente, na tipologia das construções e da cobertura do solo. Esse método tornou-se uma importante ferramenta para caracterização e planejamento de recomendações adequadas aos contextos climáticos em questão, uma vez que teve por objetivo eliminar contradições observadas na conceitualização de áreas urbanas, suburbanas e rurais, em estudos de clima urbano realizados em diferentes países. Entretanto, a aplicação deste método de classificação é recente e ainda incipiente nos trabalhos de clima urbano realizados no Brasil. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo realizar uma breve revisão da literatura acerca da aplicação do método de Zonas Climáticas Locais (LCZ) em teses e dissertações que tiveram como objeto de estudo cidade brasileiras. As etapas metodológicas seguiram protocolo de revisão e seleção de teses e dissertações a partir de 3 etapas: (1) seleção da base de dados e definição dos critérios de busca; (2) definição dos parâmetros para análise dos trabalhos selecionados, e (3) análise e síntese dos resultados. Foram selecionados e analisados nove trabalhos. Os resultados mostram uma diversidade nos procedimentos de aplicação do método, possivelmente pelo fato de terem sido elaborados por diferentes áreas de conhecimento.*

Palavras-chaves: Planejamento urbano; Microclimas; LCZ.

Abstract: *The classification system in Local Climatic Zones (LCZs) is based, especially, on the typology of buildings and soil cover. This method was an important tool for characterizing and planning recommendations appropriate to the climate contexts, since it aimed to eliminate contradictions observed in the conceptualization of urban, suburban, and rural areas, in urban climate studies conducted in different countries. However, the application of this classification method is recent and still incipient in the urban climate work carried out in Brazil. In this context, this article aims to conduct a brief review of the literature on the application of the Local Climatic Zones (LCZ) method in theses that had as the object of the study Brazilian city. The methodological procedures followed a protocol of review and selection of theses in 3 stages: (1) selection of the database and definition of search criteria; (2) definition of parameters for analysis of selected papers; and (3) analysis and synthesis of results. Nine theses*

¹ ARAÚJO, Christiane Alves; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues. Zonas Climáticas Locais: breve revisão da literatura em estudos de clima urbano no Brasil. In: CONGRESSO ARAGUAIENSE DE CIÊNCIAS EXATA, TECNOLÓGICA E SOCIAL APLICADA, p. xx, 2021, Santana do Araguaia. **Anais...** Santana do Araguaia: III CONARA, 2021.

were selected and analyzed. The results show a diversity in the procedures of application of the method, possibly because they were elaborated by different areas of knowledge.

Keywords: *Urban planning; Microclimates; LCZ.*

Resumen: *El sistema de clasificación en Zonas Climáticas Locales (ZLC) se basa, especialmente, en la tipología de edificios y cobertura del suelo. Este método se convirtió en una herramienta importante para caracterizar y planificar recomendaciones adecuadas a los contextos climáticos, ya que tuvo como objetivo eliminar las contradicciones observadas en la conceptualización de las áreas urbanas, suburbanas y rurales, en los estudios de clima urbano realizados en diferentes países. Sin embargo, la aplicación de este método de clasificación es reciente y aún incipiente en el trabajo climático urbano realizado en Brasil. En este contexto, este artículo tiene como objetivo realizar una breve revisión de la literatura sobre la aplicación del método de las Zonas Climáticas Locales (LCZ) en tesis que tuvieron como objeto de estudio la ciudad brasileña. Los procedimientos metodológicos siguieron un protocolo de revisión y selección de tesis a partir de 3 etapas: (1) selección de la base de datos y definición de criterios de búsqueda; (2) definición de parámetros para el análisis de tesis seleccionadas, y (3) análisis y síntesis de resultados. Se seleccionaron y analizaron nueve tesis. Los resultados muestran una diversidad en los procedimientos de aplicación del método, posiblemente debido a que fueron elaborados por diferentes áreas del conocimiento.*

Palabras clave: *Urbanismo; Microclimas; LCZ.*

1 Introdução

A interferência do ser humano nos sistemas naturais pode ser visto a partir de uma série de processos como a substituição da cobertura natural do solo para as construções urbanas. A retirada da vegetação muda significativamente as propriedades da superfície alterando os balanços de energia e massa. Por diversas vezes, este fato resulta em alterações no balanço hídrico local, além da evapotranspiração reduzir e o escoamento superficial se potencializar (OKE, 1987). Silva (2020) afirma que as alterações nas cidades afeta negativamente o microclima e o conforto térmico do usuário. Assim, é cada vez mais urgente a necessidade por soluções que possam mitigar os problemas referentes ao comportamento das variáveis climáticas na camada intraurbana.

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) define a ICU como uma anomalia térmica que se manifesta a partir da diferença térmica entre a periferia e o centro urbano, mais evidenciada em condições de atmosfera estável, céu claro, ventos fracos e intensa incidência de radiação solar.

Vários fatores propiciam à formação de ICU. Cada fator representa uma modificação no balanço de energia de superfície e radiação no ambiente urbano. Assim, podemos destacar maior absorção da radiação solar devido à reflexão e radiações múltiplas por meio da construção de superfícies verticais na cidade, maior retenção de radiação infravermelha em cânios urbanos, maior absorção e liberação retardada de calor por edifícios e superfícies pavimentadas, maior parte da radiação solar absorvida na superfície convertida em calor sensível; maior liberação de calor sensível e latente proveniente da combustão de combustíveis para transporte urbano, processamento industrial e aquecimento/refrigeração de ambientes domésticos, entre outros (OKE, 1982). Corrêa, Corrêa & Andrade (2012) também citam as modificações urbanas causadas pela ação antrópica, como a impermeabilização do solo com a aplicação de camadas

de concreto ou asfalto, a remoção da cobertura vegetal que impede o escoamento da água pluvial e retenção da água no solo, tendo como consequência, a redução da umidade relativa do ar. Vianna (2018) ainda ressalta a elevada capacidade de armazenamento de calor dos materiais aplicados nas edificações e nas superfícies urbanas.



As paisagens rurais são interpretadas como menos povoadas em relação às cidades, com menor estruturas construídas e espaço natural mais abundante para uso agrícola, considerando que as paisagens urbanas têm significativamente mais estruturas construídas e populações maiores (STEWART & OKE, 2012). O paradigma urbano-rural surge em estudos de ilhas de calor cujas observações faz referência aos termos “urbano” e “rural”, entretanto, sem conceituação clara para ambas as expressões. Dessa maneira, a dicotomia urbano-rural gerou problemas metodológicos que comprometeram a veracidade dos resultados, como a classificação indiscriminadas de locais onde foram realizadas pesquisa de campo urbanos e rurais, além da falta de rigor científico nas análises e procedimentos observacionais (STEWART, 2011).


Nesse cenário, Stewart & Oke (2012) apresentam um sistema de classificação que toma como base a análise da geometria urbana e da cobertura do solo, denominada Zona Climática Local (LCZ). Este sistema de classificação baseia-se, especialmente, na tipologia das construções e da cobertura do solo e tornou-se uma importante ferramenta para caracterização e planejamento de recomendações adequadas aos contextos climáticos em questão, uma vez que teve por objetivo eliminar contradições observadas na conceituação de áreas urbanas, suburbanas e rurais, em estudos de clima urbano realizados em diferentes países. Assim, o sistema tornou-se uma importante ferramenta para a caracterização e o planejamento de recomendações adequadas aos contextos climáticos em questão, a fim de facilitar a documentação consistente de dados, melhorar a base de comparações entre locais e fornecer um protocolo que possa medir a significância do efeito da ilha de calor urbana em qualquer cidade.

Nesse sentido, Stewart & Oke (2012) tem como objetivo incentivar o uso mais restrito dos termos “urbano” e “rural” ao descrever as condições físicas locais de um espaço. O sistema pode atender um requisito básico em estudos de clima urbano por meio de descrição padronizada de superfícies, estruturas e coberturas, com a intensão de entender as causas e controles da ilha de calor. Assim, o sistema visa melhorar a descrição das condições de superfície em áreas urbanas e rurais, conforme Quadros 1 e 2.

O uso desse método de classificação vem sendo realizado principalmente em países Europeus e Asiáticos e, mais recentemente, no Brasil. A partir do exposto, o presente artigo teve como objetivo realizar uma breve revisão da literatura acerca da aplicação do método de classificação de Zonas Climáticas Locais (LCZ) em estudos de clima urbano no Brasil, a partir de teses e dissertações.



Quadro 01 - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologias de construção






Tipologia da construção	Descrição
	1. Arranha-céus compactos Densa mistura de edifícios altos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo é principalmente pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.
	2. Edifícios médios compactos 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.

3. Edifícios baixos compactos	
	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.
4. Edifícios altos com espaço aberto	
	Arranjo aberto de edifícios altos. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas). Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.
5. Edifícios médios com espaços abertos	
	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.
6. Edifícios baixos com espaços abertos	
	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.
7. Adensamento de edifícios baixos leves	
	Densa mistura de edifícios baixos. Poucas ou nenhuma árvore. A cobertura de solo expostos. Materiais de construção leves (por exemplo, madeira, palha, metalondulado).
8. Grandes edifícios baixos, galpões	
	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.
9. Escassamento construído	
	Arranjo com pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura de solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).
10. Indústria pesada	
	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).

Tabela 02 - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologias de cobertura do solo

Tipologias de Cobertura de Solo	Descrição
A. Árvores adensadas	
	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. Árvores dispersas	
	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.

C. Arbustos	
	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 arvoredo natural ou agricultura.
D. Plantas baixas	
	Paisagem com características de grama ou plantas/ colheitas herbáceas. Poucas ou nenhuma árvore. Função de zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
E. Pavimentação/ Pedra exposta	
	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.
F. Solo exposto/ Areia	
	Paisagem com característica de solo ou cobertura de areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.
G. Água	
	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)

2 Metodologia

No presente artigo, aplicou-se a metodologia de revisão de literatura conforme Kitchenham (2004) e Gough, Thomas e Oliver (2012). Assim, foram definidas as etapas metodológicas que seguiram o protocolo de revisão e seleção dos trabalhos acadêmicos a partir de 3 etapas: (1) seleção da base de dados eletrônicas e definição dos critérios de busca; (2) definição dos parâmetros para análise e coleta de dados, e (3) análise e síntese dos resultados.

Na primeira etapa foi definido como plataforma de busca a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Na segunda etapa foram definidos os parâmetros a serem coletados: tipo do trabalho (tese ou dissertação) e palavras-chave e termos de busca. Foram usados os termos: “Zonas Climáticas Locais” AND “LCZ*”. O resultado da busca foi tabulado em planilha eletrônica do Excel, contendo: autor, cidade, título do trabalho, área do conhecimento, tipo de trabalho e resumo. Em seguida, foi realizado um primeiro filtro de seleção dos trabalhos encontrados a partir do título e do resumo, resultando na seleção de nove trabalhos. O resultado da busca está detalhado no Quadro 3. Na terceira etapa foi realizada a análise dos trabalhos selecionados e síntese dos resultados.

Quadro 3 - Resultado do processo de busca na BDTD

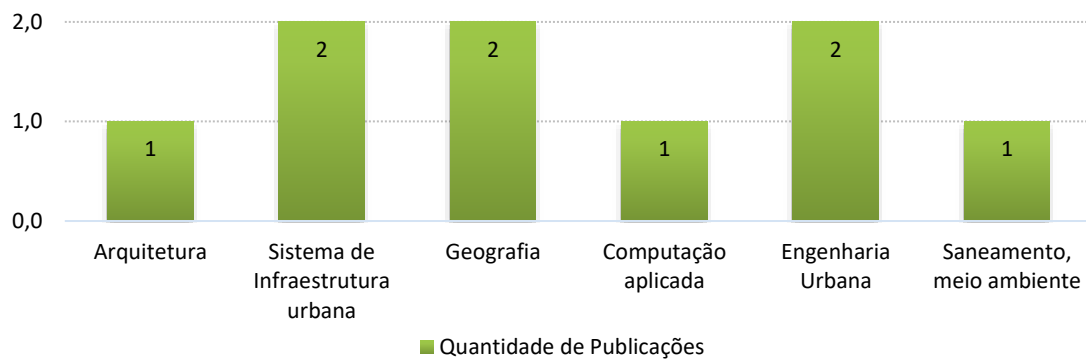
Plataforma		Biblioteca Brasileira e Teses e Dissertações
Dados de Entrada:		Zonas Climáticas Locais
Palavras-chave		LCZ*
Resultados (trabalhos acadêmicos) - Zonas Climáticas Locais		12
Resultados (trabalhos acadêmicos) - LCZ*		17
Total de resultados		29
Triagem	Sobreposição (Repetidos)	20
	Critério: cidades estrangeiras	02
	Critério: cidades brasileiras	09
Resultado final (trabalhos acadêmicos)		09

Fonte: Elaboração própria (2021).

3 Análise e discussão dos resultados

A partir da base de dados da BDTD foi possível encontrar um total de 29 trabalhos, dentre os quais foram identificados 11 trabalhos, entre teses e dissertações, realizadas em Programas de Pós-Graduação de Universidades brasileiras com aplicação do método de LZC. Entretanto, 2 trabalhos faziam análise de cidades estrangeiras: Quito, no Equador (LÓPEZ, 2020) e Bogotá, na Colômbia (AGUILAR, 2019). Ambos trabalhos foram excluídos da análise, haja vista que se buscava trabalhos cujo objeto de estudo fosse cidades brasileiras. Dessa forma, foram selecionados para análise, dentro do escopo deste artigo, nove trabalhos acadêmicos, sendo duas teses de doutorado e sete dissertações de mestrado, defendidas entre os anos de 2015 a 2020. Os trabalhos foram classificados por área temática, conforme Gráfico 1. Observa-se uma diversidade de áreas temáticas com aplicação do método, sendo elas: Arquitetura, Engenharia Urbana, Geografia, Computação Aplicada, Sistema de Infraestrutura Urbana e Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

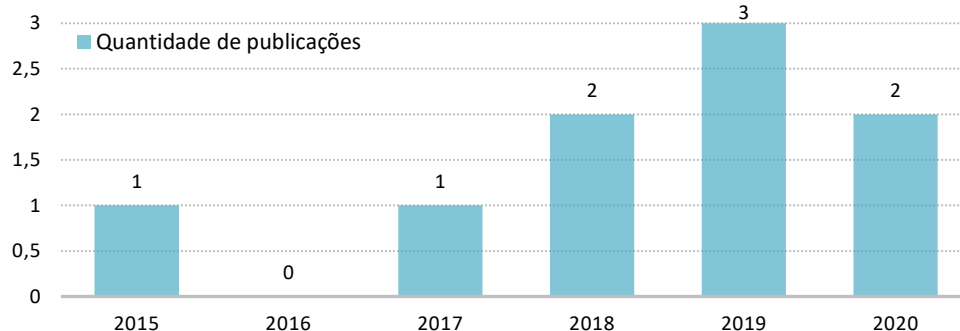
Gráfico 1 Quantidade de publicações por área temática



Fonte: Elaboração própria (2021)

Em relação ao ano de publicação, notou-se crescimento a partir de 2018 (Gráfico 2). 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.

Gráfico 2 - Quantidade de publicações por ano



Fonte: Elaboração própria (2021)

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), com auxílio de imagens de satélites e do aplicativo Google Earth, além da realização da classificação mais detalhada com imagens obtidas com o RAPIDEYE5,

(DORIGON, 2019; CARVALHO, 2019). No trabalho 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 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 ZCLs para sua pesquisa foram a relação H/W com altura média da rugosidade e superfície construída. Os valores de FVC foram somados aos dados. Segundo Monteiro (2018) os parâmetros escolhidos foram o FVC (através da fotografia Lente olho de peixe), a relação H/W, fração de superfície edificada, superfície impermeável e permeável (através 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.

Por fim, para melhor compreender os aspectos comuns aos nove trabalhos selecionados, foi elaborada uma nuvem de palavras a partir dos títulos, resumos e palavras-chave por meio do aplicativo *on-line* WordArt (Figura 1). 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 LCZs. Também foi possível observar o destaque para o índice PET (sigla em inglês para o índice Temperatura Fisiológica Equivalente) e o parâmetro FVC (Fator de Visão do Céu).

Figura 1 – Nuvem de palavras gerada a partir dos títulos, resumos e palavras-chaves usadas nos nove trabalhos selecionados.



Fonte: Elaboração própria (2012)

O Quadro 2 apresenta uma síntese das dissertações e teses analisadas, em ordem cronológica, destacando os autores e ano de defesa dos trabalhos, além da cidade que foi objeto de estudo, área do conhecimento, tipo do trabalho e descrição dos principais resultados encontrados.

Quadro 2 – Síntese das dissertações e teses analisadas, em ordem cronológica

Autor (ano)	Cidade	Área de conhecimento	Tipo de trabalho	Principais resultados
Cardoso (2015)	Presidente Prudente-SP	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	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 estudados.
Soeira (2018)	Campinas-SP	Sistemas de Infraestrutura Urbana	Dissertação	As LCZs com arranjo compacto e de verticalização média a alta apontaram temperaturas maiores do que as LCZs de arranjo compacto e verticalização baixa a média (0,5 °C).
Monteiro (2018)	Campinas-SP	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	Produção do Espaço Geográfico	Tese	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.
Fernandes (2019)	São Carlos-SP	Engenharia Urbana	Dissertação	Os resultados finais foram confirmados pela análise de correlação, pela qual verificou-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.

(continua)

(continuação)

Carvalho (2019)	Belo Horizonte-MG	Meio Ambiente	Dissertação	Os resultados obtidos 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	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	Arquitetura e Urbanismo	Dissertação	Percebeu-se 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 apresentaram melhorias quanto à sensação de desconforto. No período da noite, quatro LCZs apresentaram melhora em relação ao conforto.

Fonte: Elaboração própria (2021)

3.1 Discussões

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 que, para valores de FVC abaixo de 0,45, as LCZs 23 e 3 apresentaram elevação da temperatura do ar no período noturno entre 1,5 °C e 2,2 °C, aproximadamente. Esses valores são semelhantes aos encontrados nas LCZs 12 e 31, onde a elevação foi de aproximadamente 1,7 °C a 2,0 °C. Nas LZCs com valores de FVC acima de 0,45 (LCZs 23 e 3) apresentaram elevação noturna da temperatura do ar entre 1,5 °C

e 0,7 °C, evidenciando um comportamento mais próximo ao apresentado pela LCZ 3B. A LCZ 6, mostrou menor elevação da temperatura do ar entre todas as Zonas Climáticas Locais avaliadas, com valores entre 0,0 °C e -0,2 °C, aproximadamente. O autor concluiu que LCZs compactas de baixa a média verticalização apresentam elevação de temperatura similar à LCZs compactas de gabarito médio a alto e para os valores de FVC acima de 0,45, os efeitos da verticalização na elevação da temperatura do ar no período noturno se mostram mais significativos. Dessa forma, a pesquisa concluiu que as LCZs com arranjo compacto e de verticalização média a alta apontou temperaturas maiores do que as LCZs de arranjo compacto e verticalização baixa a média (0,5 °C).

Monteiro (2018), também em pesquisa na cidade de Campinas-SP, realizou análise preliminar 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 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. Os trajetos para as coletas de dados de temperatura e umidade relativa do ar foram realizados por meio de medições móveis e pontos de medições fixas, cuja campanha de monitoramento ocorreu na estação de inverno. Os resultados mostraram que a morfologia urbana com FVC elevado e classes de rugosidade muito irregulares proporcionou ganho de calor e perda de umidade do ar de forma mais expressiva durante o período de aquecimento (09 h às 15 h), assim como maior perda de calor no período de resfriamento (15 h às 21 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 h às 21 h) e maior perda de calor no período das 21 h às 09 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 h, coincidindo com o período de maior aquecimento do ar. A autora observou ainda que, no período de resfriamento, às 21 h, a maior amplitude térmica ocorreu entre as LCZ's 53 e 86 (0,7°C). A LCZ 86 apresentou o maior ganho de calor, assim como apresentou a maior perda de umidade das 09 h às 15 h, maior perda de calor das 15 h às 21 h e, também, menor ganho e menor perda de umidade das 21 h às 09 h. A LCZ 31 apresentou a menor perda de umidade das 09 h às 15 h, menor ganho das 15 h às 21 h e o maior ganho de calor das 21 h às 09 h. Por fim a LCZ AG obteve o maior ganho de calor das 15 h às 21 h e a maior perda das 21 h às 09 h.

Dorigon (2019), em 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 3B, LCZ 34 e LCZ 7, 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 verificou-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 do 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 que nas áreas verticalizadas ou em processo de verticalização as tendências de elevação foram constatadas principalmente durante o dia.

Megda (2020), em pesquisa na cidade de Franca-SP, fez análise do clima urbano a partir da coleta por transecto móvel em solo e o uso de um VANT para a coleta de dados de temperatura até a altura das ilhas de calor urbano (ICU). As variáveis mais relevantes para o autor na composição da classificação das LCZs foram: relação H/W, altura média da rugosidade e superfície construída. Além disso, imagens com a lente olho de peixe, juntamente com valores de FVC foram somadas aos dados. O desempenho dos cânions foi avaliado comparando-se a temperatura do ar, a velocidade do vento e a temperatura fisiológica equivalente (PET).

Os resultados obtidos por Megda (2020) evidenciaram que 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 os fatores da geometria urbana, 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 de correlações lineares apresentarem valores considerados baixos para demonstrar influência entre os fatores físicos e a formação de ICU.

Por fim, o método de classificação das LCZs usado 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, visto que estes parâmetros se mostraram suficientes para a classificação e subclassificação das zonas, não se fazendo necessária a verificação da classe de rugosidade do terreno, nem do Fator de Visão do Céu. Em seguida, foi feito o mapeamento dessas zonas, proposta pelo WUDAPT.

A autora 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 (3, 65, 46 e 1) no período da tarde. No período diurno, três LCZs (3, 46 e 5) apresentaram melhorias quanto à sensação de desconforto, enquanto outras duas mantiveram-se em “conforto”, porém apresentaram valores de PET elevados. No período da noite, quatro LCZs (3, 46, 1 e 5) apresentaram melhora em relação ao conforto, porém de 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 que a LCZ 1, apresentou a maior amenização quanto ao conforto térmico, com 7° C para o mesmo período.

O Quadro 1 abaixo apresenta, em ordem cronológica, uma síntese dos nove trabalhos analisados, destacando os principais resultados encontrados na análise de clima urbano a partir da classificação por Zonas Climáticas Locais:

4 Considerações finais

Os resultados encontrados na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) de trabalhos acadêmicos com aplicação do método de Zonas Climáticas Locais (LCZ) destaca que a aplicação do método é ainda incipiente em teses e dissertações cujo objeto de estudo são cidades brasileiras. Os resultados destacaram, ainda, uma diversidade de procedimentos metodológicos na aplicação do método, possivelmente pelo fato de terem sido elaborados em diferentes áreas de conhecimento, como a arquitetura, engenharia, geografia, computação aplicada, sistema de infraestrutura urbana e saneamento ambiental.

A partir da análise dos principais resultados obtidos nas teses e dissertações selecionadas, as pesquisas foram unânimes em encontrar 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 e, em relação às correlações entre os fatores da geometria urbana, como o FVC e a relação H/W, destacou-se que os valores no FVC foram mais relevantes para se verificar a formação de ilhas de calor urbano.

Por fim, sugere-se ampliar a pesquisa com trabalhos publicados em artigos, periódicos e eventos científicos nacionais e internacionais, haja vista que o conhecimento e uniformidade acerca da aplicação do método e a análise dos resultados encontrados por diferentes pesquisadores possibilita o aprimoramento do próprio método, chegando mais próximo aos objetivos inicialmente proposto por seus criadores.

Referências

AGUILAR, E. A. R. **Forma urbana, densidade da população e zonas climáticas locais: influências e avaliação da ilha de calor urbana em Bogotá, Colômbia.** Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. Campus São Carlos. 2019.

CARDODO, 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.

CORRÊA, P. B.; CORRÊA, J.; ANDRADE, S. **Análise da temperatura de superfície da área urbana de santarém através de imagens termais do landsat 5.** Revista Geonorte, v. 2,

p. 714–722, 2012.

DORIGON, L. P. **As ilhas de calor urbanas em Jundiá-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.

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.

GOUGH, D.; THOMAS, J.; & OLIVER, S. **Clarifying differences between review designs and methods**. Systematic reviews, v. 1 (n.1), p. 1. 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1186/2046-4053-1-28>

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. 2004. <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>

LÓPEZ, D. P. M. **Ciudad y Cambio Microclimático**. Tese de doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da universidade de Brasília. 2020.

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, 2003, p.93-120.

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

Oke, T. R., 1982: **The energetic basis of the urban heat island**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 108.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Co. 2nd edn. 1987, 435p.

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.

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.

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.

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

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

VIANNA, E. O. **O Campo Térmico Urbano – Ilhas de Calor em Brasília DF.** [s.l.] Universidade de Brasília, 2018.