

# APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO DE ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS EM CIDADES BRASILEIRAS: BREVE REVISÃO DA LITERATURA

APPLICATION OF THE LOCAL CLIMATE ZONE CLASSIFICATION METHOD IN BRAZILIAN CITIES: BRIEF LITERATURE REVIEW

ARAÚJO, CHRISTIANE; BARBOSA, RICARDO.

## RESUMO

O sistema de classificação em Zonas Climáticas Locais (ZCLs) 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 conceituação 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 teve como objetivo realizar uma breve revisão da literatura acerca da aplicação do método de Zonas Climáticas Locais (ZCL) em teses e dissertações em estudos de 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 doze trabalhos. Os resultados mostram uma diversidade nos procedimentos de aplicação do método, possivelmente pelo fato de terem sido elaborados por diferentes áreas de conhecimento.

## ABSTRACT

*The classification system into Local Climate Zones (ZCLs) is based, in particular, on the typology of buildings and land cover. This method has become an important tool for characterizing and planning appropriate recommendations for the climatic contexts in question, since it aimed to eliminate contradictions observed in the conceptualization of urban, suburban and rural areas, in urban climate studies carried out in different countries. However, the application of this classification method is recent and still incipient in works on urban climate carried out in Brazil. In this context, this article aims to carry out a brief literature review about the application of the Local Climate Zones (ZCL) method in theses and dissertations that had Brazilian cities as their object of study. The methodological stages followed a protocol for reviewing and selecting theses and dissertations based on 3 stages: (1) selection of the database and definition of search criteria; (2) definition of parameters for analysis of selected works, and (3) analysis and synthesis of results. Twelve papers were selected and analyzed. The results show a diversity in the methods application procedures, possibly due to the fact that they were elaborated by different areas of knowledge.*

**Palavras-chave:** Análise climática, Planejamento urbano; Microclimas; ZCL.

**Key-words:** Climate analysis, Urban planning; Microclimates; ZCL.

## 1. INTRODUÇÃO

A interferência do ser humano nos sistemas naturais pode ser vista 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 afetam 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 a 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 e 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.

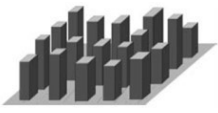




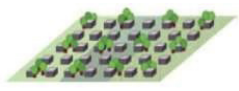
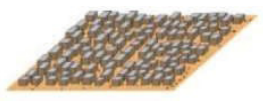





As paisagens rurais são interpretadas como menos povoadas em relação às cidades, com menores estruturas construídas e espaço natural mais abundante para uso agrícola, considerando que as paisagens urbanas têm significativamente mais estruturas construídas e populações maiores (Stewart e Oke, 2012). O 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 por exemplo a classificação indiscriminada de locais em que foram realizadas pesquisas de campo urbano e rural (Stewart, 2011).

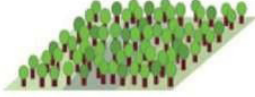
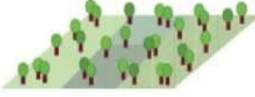





Nesse cenário, Stewart e Oke (2012) apresentam um sistema de classificação que toma como base a análise da geometria urbana e da cobertura do solo, denominada Zona Climática Local (ZCL). Este sistema de classificação baseia-se, especialmente, na tipologia das construções e da cobertura do solo e tornou-se 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. Deste modo, 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 e 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 o propósito de entender as causas e controles da ilha de calor. Dessa forma, o sistema visa melhorar a descrição das condições de superfície em áreas urbanas e rurais, conforme Tabelas 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 tem como objetivo realizar uma breve revisão da literatura acerca da aplicação do método de classificação de Zonas Climáticas Locais (ZCL) em estudos de clima urbano no Brasil, a partir de teses e dissertações.

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, metal ondulado).
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.

**Tabela 1** - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologias de construção  
 Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)

Tipologia da construção	Descrição
<p>A. Árvores adensadas</p> 	<p>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.</p>
Tipologia da construção	Descrição
<p>B. Árvores dispersas</p> 	<p>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.</p>
Tipologia da construção	Descrição
<p>C. Arbustos</p> 	<p>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.</p>
Tipologia da construção	Descrição
<p>D. Plantas baixas</p> 	<p>Paisagem com características de grama ou plantas herbáceas. Poucas ou nenhuma árvore. Função de zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.</p>
Tipologia da construção	Descrição
<p>E. Pavimentação/ Pedra exposta</p> 	<p>Paisagem com características de rocha ou cobertura pavimentada. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é o deserto natural (rocha) ou o transporte urbano.</p>
Tipologia da construção	Descrição
<p>F. Solo exposto/ Areia</p> 	<p>Paisagem com características de solo ou cobertura de areia. Poucas ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.</p>
Tipologia da construção	Descrição
<p>G. Água</p> 	<p>Corpos de água grandes e abertos, como mares e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.</p>

**Tabela 2** - Definições sintetizadas das Zonas Climáticas Locais - Tipologias de cobertura do solo.  
 Fonte: Adaptado de Stewart e Oke (2012)



## 2. MÉTODOS

No presente artigo, aplicou-se o método 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. Nenhuma limitação de tempo foi utilizada, com o intuito de abranger a maior quantidade de trabalhos possíveis.

Na primeira etapa foi definido como plataforma de busca a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), com a finalidade de levantar e conhecer os trabalhos acerca de clima urbano em cidades brasileiras realizados em Programas de Pós-Graduação no Brasil. Ainda nesta 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" OR "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. A segunda etapa consistiu na aplicação do primeiro filtro de seleção dos trabalhos, excluindo-se os trabalhos repetidos; posteriormente excluindo-se os trabalhos que não apresentavam aderência ao tema, o que foi observado a partir da leitura dos títulos e dos resumos. Ainda nesta etapa, foram excluídos os trabalhos que tinham foco em cidades estrangeiras: Quito, no Equador (López, 2020) e Bogotá, na Colômbia (Aguilar, 2019). O resultado da busca está detalhado no Quadro 1. Na terceira etapa foi realizada a análise dos trabalhos selecionados e síntese dos resultados.

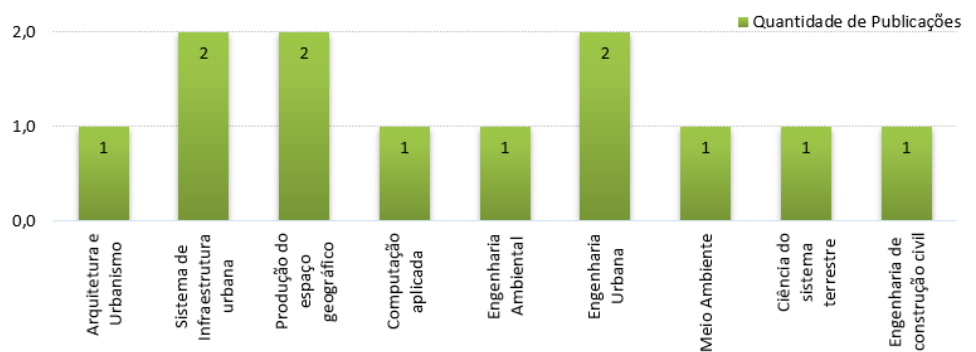
	Plataforma	Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações	
Etapa 1	Dados de Entrada: Termos de busca	"Zonas Climáticas Locais" OR "ZCL*"	
	Total de resultados (trabalhos acadêmicos) – "Zonas Climáticas Locais" OR "ZCL*"	22	
Etapa 2	Triagem com exclusão dos trabalhos	Excluído por sobreposição (repetidos)	03
		Excluído após leitura de título/resumo	05
		Excluído por ser em cidades estrangeiras	02
Etapa 3	Resultado final (trabalhos acadêmicos selecionados)	12	

**Quadro 1** - Resultado do processo de busca na BDTD.  
Fonte: Elaboração própria (2022)

A busca na base de dados foi realizada em dois momentos. A primeira busca ocorreu em agosto de 2021, quando foram selecionados 11 trabalhos. Com intuito de atualizar a revisão, foi realizada uma segunda busca em setembro de 2022. Na segunda, observou-se que Dorigon (2019), que apresentou significativa contribuição em sua pesquisa ao utilizar a coleta de imagens de satélites e o uso do método WUDAPT não estava disponível na BDTD. Entretanto, este trabalho continuou fazendo parte desta revisão por ter sido encontrado no momento da primeira busca. Além disso, a segunda busca identificou o trabalho de Medeiros Sobrinho (2021), que também foi acrescentado à revisão. Assim, foram selecionados para análise dentro do escopo deste artigo, doze trabalhos acadêmicos, sendo quatro teses de doutorado e oito dissertações de mestrado, que foram defendidas entre os anos de 2015 a 2021.

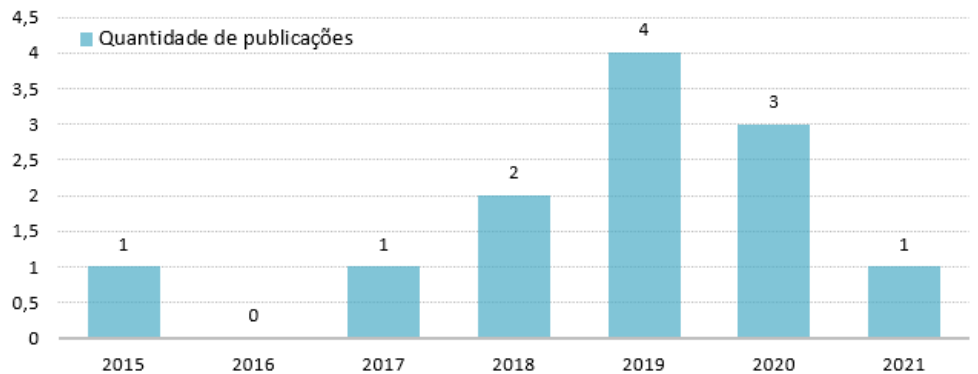
### 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os trabalhos foram classificados por área temática, conforme Gráfico 1. Observa-se uma diversidade de áreas temáticas com aplicação do método, sendo elas: Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Urbana, Engenharia Ambiental, Produção do espaço geográfico, Computação Aplicada, Sistema de Infraestrutura Urbana, Meio Ambiente, Engenharia de construção Civil e Urbana, e Ciência do sistema terrestre.



**Gráfico 1** - Quantidade de publicações por área temática.  
 Fonte: Elaboração própria (2022)

Em relação ao ano de publicação, notou-se crescimento a partir de 2018 (Gráfico 2). Considerando que a apresentação do método por Stewart e 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 (2022)

Embora os trabalhos selecionados tenham tomado como base o método de classificação proposto por Stewart e Oke (2012) e também por Stewart (2011), observaram-se que os procedimentos metodológicos adotados para classificação das ZCLs 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 ZCLs 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; Sobrinho, 2021). Em contrapartida no 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 ZCLs 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 de 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 ZCLs a partir dos levantamentos in loco e da observação de imagens de satélite.





Autor (ano)	Cidade	Área de conhecimento	Tipo de trabalho	Principais resultados
Cardoso (2019)	Presidente Prudente-SP	Produção do Espaço Geográfico	Dissertação	As classes de ZCLs 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 (ZCL 3) presente em 40% dos locais que foram classificados, seguido pelas ZCL C e 6 com 20% cada.
Soeira (2018)	Campinas-SP	Sistemas de Infraestrutura Urbana	Dissertação	As ZCLs com arranjo compacto e de verticalização média a alta apontaram temperaturas maiores do que as ZCLs 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 temperaturas mais intensas estiveram relacionadas com ZCLs características de áreas urbanas.
Fernandes (2019)	São Carlos-SP	Engenharia Urbana	Dissertação	Os resultados indicaram que, apesar do sistema de classificação das zonas climáticas locais pretender 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.
Carvalho (2019)	Belo Horizonte-MG	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.
Pacifici (2019)	São Paulo-SP	Engenharia de Construção Civil e Urbana	Tese	Os resultados das simulações destacaram que o sombreamento dos arranha-céus induzem diferentes microclimas nos espaços ao ar livre e que áreas compactas de baixo crescimento são altamente afetadas por altas temperaturas.
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	Foram classificadas 12 ZCLs, de forma que a autora percebeu que o acréscimo de vegetação intraurbana proporcionou a melhora do conforto térmico em quatro ZCLs no período da tarde e três ZCLs no período diurno que apresentaram melhorias quanto à sensação de desconforto. No período da noite, quatro ZCLs apresentaram melhora em relação ao conforto.
Ferreira (2020)	São José dos Campos-SP	Ciência do Sistema Terrestre	Tese	As tipologias construtivas observadas no CL1_TS (pontos quentes), foram: ZCL 8 (edificações esparsas) e ZCL 3 (edificações compactas). Já na CL2_TS as tipologias observadas foram as ZCLs identificadas como ZCL 4 (edificações verticais, com vegetação); ZCL 6 (edificações de pequeno porte, com vegetação) e ZCL A (vegetação densa).
Sobrinho (2021)	Londrina-Paraná	Engenharia Ambiental	Dissertação	Em geral, a utilização das ZCLs 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.

**Quadro 2** - Síntese das dissertações e teses analisadas, em ordem cronológica.  
Fonte: Elaboração



### 3.1 Discussões acerca das contribuições dos trabalhos

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 ZCLs 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 representaram 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 definição da área de fonte térmica foi realizada na segunda etapa do método de classificação ZCL. Nesta etapa, o autor atribuiu o valor padrão do raio 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 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 ZCLs selecionadas, a classe que melhor representou Feira de Santana, de acordo com o autor, foi a compacta de baixa elevação (ZCL 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 21h, a variação na temperatura do ar foi associada a valores de FVC em distintas ZCLs, enquanto que, para valores de FVC abaixo de 0,45, as ZCLs 3 e 23 apresentaram elevação da temperatura do ar no período noturno entre 1,5°C e 2,2°C, aproximadamente.

Monteiro (2018) 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 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. 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 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 (09h às 15h), assim como maior perda de calor no período de resfriamento (15h às 21h).

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 (15h às 21h) e maior perda de calor no período das 21h 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 9h, coincidindo com o período de maior aquecimento do ar.

Dorigon (2019), em sua pesquisa na cidade de Jundiaí-SP, utilizou como método a coleta de imagens de satélites e o uso da plataforma WU-DAPT. A autora fez a instalação de sensores fixos em diferentes locais da malha urbana e obteve como primeiro indício nos seus resultados que os locais com a maiores indícios de ilhas de calor estiveram conectados com uma sequência de estabilidade atmosférica e que as maiores temperaturas estiveram relacionadas com ZCLs características de áreas urbanas: ZCL 3, ZCL 7, ZCL 3B e ZCL 34, todas compactas, com pouca ou nenhuma vegetação. As menores temperaturas foram registradas na ZCL 9, relativa à área rural, e ZCL 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 ZCLs 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<sup>2</sup>. 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, observaram-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 de imagens de satélite Landsat8 OLI/TIRS C1 para classificação das ZCLs 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.

<sup>2</sup> Software que calcula o Fator de Visão de Céu, além da obtenção do Trm e índices de conforto térmico PMV e PET. O programa foi desenvolvido por Andreas Matzarakis. Maiores informações sobre o autor e aplicações do software RayMan podem ser obtidas em: <http://www.urbanclimate.net/matzarakis/index.htm>.



<sup>3</sup> Veículo aéreo não tripulado ou "drone".

Megda (2020), em pesquisa na 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>3</sup> para a coleta de dados de temperatura até a altura das ilhas de calor urbana (ICU). As variáveis mais relevantes para o autor na composição da classificação das ZCLs 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 somados aos dados. Os resultados 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 parâmetros como o FVC e a relação H/W, destaca-se que os valores de FVC foram mais relevantes para verificar a formação de ICUs, apesar desses valores serem considerados baixos para demonstrar influência entre os fatores físicos e a formação de ICU.

O método de classificação das ZCLs 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, a altura dos elementos de rugosidade além do mapeamento dessas zonas através do portal do WUDAPT. A autora classificou 12 Zonas Climáticas Locais, sendo 5 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 melhoria do conforto térmico em 4 ZCLs (1, 3, 46 e 65) no período da tarde. No período diurno, 3 ZCLs (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, ZCLs (1, 3, 46, e 5) apresentaram melhora em relação ao conforto, porém apenas 0,2°C, mantendo-se confortável. A ZCL 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 ZCL 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 Zonas Climáticas Locais (ZCLs) 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. Essas dimensões foram adotadas para atender a unidade de escala definida para as ZCLs que é a escala local. O mapeamento das ZCLs foi feito com base em indicadores morfológicos e tipologias construtivas. Nesse processo as ZCLs foram classificadas a partir de



<sup>4</sup>Baseado nos valores medianos de alguns atributos (ex. altura das edificações) e na distância euclidiana.

um método semiautomático de clusters<sup>4</sup>. A tipologia de cluster CL1\_TS (pontos quentes) classificou: ZCL 8 caracterizada por ocupações esparsas com edificações extensas de médio porte com altura entre 3 e 10 m e ZCL 3 caracterizada por ocupações compactas com edificações de pequeno porte com altura entre 3 e 8 m. A tipologia CL2\_TS identificou: ZCL 4 composta por ocupações esparsas com edificações verticais com altura maior que 25 metros, intercaladas por vegetação; ZCL 6 composta por ocupações esparsas com edificações de pequeno porte com altura entre 3 e 10 m, intercaladas por vegetação; e ZCL tipo A composta por árvores densas.

O trabalho de Medeiros Sobrinho (2021) avaliou os efeitos nas variáveis atmosféricas, incluindo as classes de ZCLs urbanas no uso de solo padrão para a Região Metropolitana de Londrina. Como não haviam 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 ZCLa 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 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 (uma 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 ZCLs 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.

Por fim, 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 Zonas Climáticas Locais (ZCLs) 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.

#### 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 (ZCL) 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. Além disso, há o fato de existir estudos que se basearam em outros autores que já haviam feito a classificação e com isso ocorreram continuações desses estudos com outro objetivo, mas referenciando a classificação de ZCLs.

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 ZCL, sendo algumas mais propícias à elevação de temperatura e formação de ilhas de calor urbana. 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, destacaram-se que os valores no FVC foram mais relevantes para se verificar a formação de ilhas de calor urbana.

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 possibilitaria o aprimoramento do próprio método, chegando mais próximo aos objetivos inicialmente propostos 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. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

BECHTEL B.; FOLEY M.; MILLS G.; CHING J., SEE L.; ALEXANDER P.; O'CONNOR M.; ALBUQUERQUE T.; ANDRADE MF.; BROVELLI M.; DAS D.; FONTE C.; PETIT G.; HANIF U.; JIMENEZ J.; LACKNER S.; LIU W.; PERERAN.; ROSNI NA.; THEEUWES N.; GÁL T. CENSUS of Cities: ZCL Classification of Cities (Level 0) – Workflow and Initial Results from Various Cities. *In: 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE JOINTLY WITH 12TH SYMPOSIUM ON THE URBAN ENVIRONMENT*, 9., 12., 2015, Toulouse, France. **Anais [...]**. Toulouse, p. 20-24.

CARDODO, R. S. **Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente-SP.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2015.

CARVALHO, A. N. M. de. **Avaliação e aplicação de esquema de dossel urbano no modelo meteorológico WRF.** Dissertação (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. Belo Horizonte, 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.** 2019. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2019.

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

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



GOUGH, D.; THOMAS, J.; OLIVER, S. Clarifying differences between review designs and methods. **Systematic reviews**, v. 1 (n.1), p. 1. 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/2046-4053-1-28>. Acesso em: 15 ago. 2021.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. 2004. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>. Acesso em 15 ago. 2021.

LÓPEZ, D. P. M. **Ciudad y Cambio Microclimático**. 2020. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

MENDONÇA, F. de A. Clima e Planejamento urbano em Londrina. Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do campo termo-higrométrico. *In*: MONTEIRO, C. A. F. e 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. (Doutorado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

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

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen e Co. 1987. p. 435.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. 1982.

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

SIMÕES, N. A. V. **Classificação do clima local de sítios urbanos de Feira de Santana**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2017.

SILVA, B. G. **Simulação computacional de Zonas Climáticas Locais do Distrito Federal**: A contribuição da vegetação intraurbana. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SOBRINHO, O. M. **Estudo numérico dos efeitos das zonas climáticas locais e infraestruturas verdes nas variáveis atmosféricas para a região metropolitana de Londrina.** Dissertação (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 (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

STEWART, I. D. **Redefining the urban heat island.** Thesis (Doctor of Philosophy) - Faculty of Graduate Studies, 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. 2012.

VIANNA, E. O. **O campo térmico urbano:** ilhas de calor em Brasília - DF. 2018. (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.