

# ILHAS DE CALOR URBANO: REVISÃO SISTEMÁTICA DAS METODOLOGIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA URBANA EM ZONAS CLIMÁTICAS LOCAIS

Rílden Gomes Rodrigues<sup>1</sup>, Luís de Pinedo Quinto Junior<sup>2</sup>, Hélio Gomes Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal Fluminense, rildengr@gmail.com; <sup>2</sup>Instituto Federal Fluminense, luizpinedo@uol.com.br; <sup>3</sup>Instituto Federal Fluminense, heliogomes58@gmail.com

## RESUMO

As Zonas Climáticas Locais (ZCL) são um sistema de classificação do espaço urbano que buscam padronizar os estudos de Ilhas de Calor Urbano (ICU), que é um fenômeno caracterizado pela manifestação de maiores temperaturas nas áreas urbanas em relação às rurais. O objetivo deste artigo é compreender as metodologias empregadas na classificação da área urbana em ZCL ao realizar uma revisão sistemática dos artigos que avaliam a ICU com o uso das ZCL. Um total de 264 artigos foram na base de dados *Web of Science*, sendo que 79 foram selecionados para a análise a partir da aplicação de critérios de seleção. Desta forma, foram investigados os métodos e programas utilizados para classificar áreas em ZCL e análise das ICU. Os resultados encontrados possibilitam um direcionamento para a melhor forma de classificação das ZCL em função das demandas oriundas das características do espaço urbano e da disponibilidade de informações.

**Palavras-chave** — ilha de calor urbano, mudanças climáticas, revisão, sensoriamento remoto, zonas climáticas locais.

## ABSTRACT

*The Local Climate Zones (LCZ) are an urban space classification system that seek to standardize the studies of Urban Heat Islands (UHI), which is a phenomenon characterized by the manifestation of higher temperatures in urban areas compared to rural ones. The objective of this article is to understand the methodologies used in the classification of urban areas in LCZ by carrying out a systematic review of articles that assess the UHI using the LCZ. A total of 264 articles were in the Web of Science database, 79 of which were selected for analysis based on the application of selection criteria. In this way, the methods and programs used to classify areas in LCZ and analyze the UHI were investigated. The results found allow a direction for the best way of classifying the LCZ according to the demands arising from the characteristics of the urban space and the availability of information.*

**Key words** — Climate Change, local climate zones, remote sensing, review, urban heat island.

## 1. INTRODUÇÃO

As alterações que a humanidade gera no ambiente natural mudam os ecossistemas e, por consequência, os fluxos de matéria e energia existentes, criando uma dinâmica diferente da que existia anteriormente. A urbanização representa uma dessas alterações, onde asfalto e o concreto passam a dominar as superfícies, no lugar da cobertura natural. A presença desses materiais e a falta de espaços verdes tende a aumentar a absorção da radiação solar e a quantidade de calor nessas áreas, mantendo uma temperatura mais elevada do que a região ao seu entorno que se encontra pouco ou não urbanizada, causando o fenômeno climático conhecido como Ilha de Calor Urbano (ICU).

Além desse fenômeno, o intenso uso de energia para transporte, refrigeração, climatização, iluminação e processos industriais também são fontes antropogênicas de calor e geram emissões de gases que intensificam o efeito estufa e provocam o aquecimento global, que já é de 1°C acima dos níveis pré-industriais [1]. As causas e consequências desses fenômenos, que se estendem do microclima até o macroclima, se somam, dando a essa questão uma dimensão global, mas que é sentida com maior intensidade no ambiente urbanizado.

Cerca de 55% da população mundial vive em cidades e a expectativa da ONU é que essa proporção aumente para 70% até 2050 e, para que essas pessoas possam viver em um ambiente mais favorável, se torna importante que as cidades implementem medidas que visem mitigar os fenômenos de aquecimento, sabendo que eles provocam uma série de impactos sobre a população urbana.

Ao fazer uma análise sistemática da literatura de estudos sobre ilha de calor urbana, foram identificadas fragilidades nos estudos, especialmente relacionados ao método, que muitas vezes falhavam em comunicar a precisão dos equipamentos e a natureza física das superfícies ao entorno desses equipamentos no momento da medição [2]. Isso levou à criação das ZCL, a fim de padronizar as áreas urbanas e rurais estudadas. Por mais que essa nova classificação auxilie nos estudos, existem diferentes formas de realizar essa classificação, sendo assim, o atual estudo tem o objetivo de analisar as metodologias empregadas para a classificação em ZCL a fim de compreender as características de cada uma, além de compreender as técnicas usadas para analisar as ICU.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão sistemática de artigos que envolvem Ilhas de Calor Urbanas e a metodologia de classificação de uso e cobertura da terra chamada de Zonas Climáticas Locais na escala da área urbana. A pesquisa foi realizada na base de pesquisa Web of Science, conforme é possível observar na Quadro 1.

<b>Base de Pesquisa</b>	Web of Science
<b>Termos de Pesquisa</b>	"urban heat island" AND ( lcz OR "local climate zones" )
<b>Filtro pelo Idioma</b>	Inglês e português
<b>Filtro pela área de pesquisa</b>	Environmental Sciences Ecology, Meteorology Atmospheric Sciences, Urban Studies, Engineering
<b>Critério de inclusão</b>	Aderência ao tema, acesso ao texto, artigo completo primário período de publicação entre 2013 e 2021

**Quadro 1 – Termos de filtro epistemológico. Autor: Elaboração própria**

Os termos de pesquisa utilizados buscaram encontrar apenas publicações que envolvessem ICU e ZCL em conjunto, sendo que o operador booleano “AND” foi utilizado para esse fim e o operador “OR” foi usado para encontrar as palavras e a sigla referente a ZCL na língua inglesa. No que se refere aos idiomas, o inglês foi utilizado por ser o principal idioma utilizado para publicações e o português permite encontrar publicações realizadas no Brasil. As áreas de pesquisa foram selecionadas em razão de sua aderência ao tema da pesquisa.

O recorte de tempo para a seleção dos artigos se deu em 2013 em razão da publicação de Stewart e Oke [3], referência fundamental na pesquisa e para colocar um limite bem definido de tempo, em razão desta pesquisa estar sendo realizada no início de 2022. Através da seleção e leitura da metodologia desses artigos buscou-se investigar esse novo paradigma nos estudos de ilhas de calor urbanas em dois principais aspectos, que são relacionados ao método usado para a classificação das ZCL e ao método análise dos dados meteorológicos.

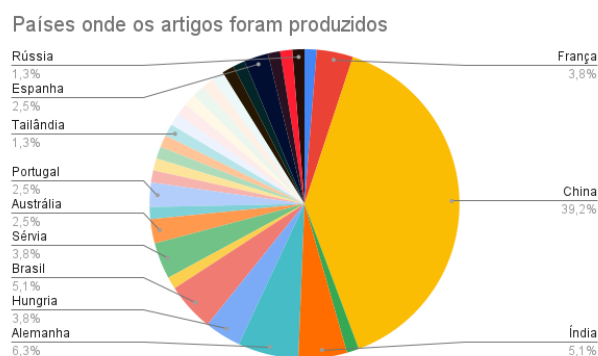
A quantidade de artigos encontrados a partir dos termos de pesquisa foi de 264 na plataforma Web of Science e foi reduzida até 79 após a aplicação de diferentes critérios de seleção.

<b>Crítérios de seleção</b>	<b>Total de artigos</b>
Termos de Pesquisa	264
Limitação entre 2013 e 2021	244
Idioma	243
Área de Pesquisa	187
Aderência ao tema e acesso ao texto	79

**Quadro 2 – Quantidade de artigos resultantes após a aplicação de cada um dos critérios de seleção. Fonte: Elaboração própria**

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao ser realizada uma análise na quantidade de publicações ao longo dos anos, é possível observar um aumento constante das publicações ao longo dos anos, o que corrobora com a relevância do método de classificação para estudos de ilha de calor e do clima urbano. Quase 90% de toda a produção se dedica aos continentes da Ásia e da Europa, com a China sendo o país que representa quase 40% de toda a produção (Figura 1). Quatro publicações tratam de cidades brasileiras, sendo duas em Aracaju-SE, uma em Franca-SP e outra em Londrina-SC.

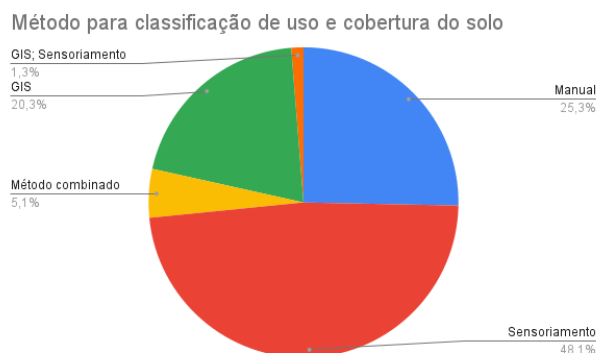


**Figura 1 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por país. Fonte: Elaboração própria**

No que se refere à classificação do uso do solo, é possível observar um predomínio no uso do método por sensoriamento remoto (Figura 2), com um total de 39 artigos ao incluir na contagem o artigo que também usou o método baseado em SIG a fim de comparar os dois métodos. A razão para o maior uso desse método recai sobre o fato de depender de uma menor quantidade de informações acerca do local a ser analisado, de utilizar informações facilmente disponíveis em plataformas como Google Earth e ao uso de programas abertos, tais como SAGA GIS e Google Earth. Outro fator que se destaca esse método é a plataforma WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools), que busca organizar a informação acerca da forma e da função das áreas urbanas relevantes para estudos ambientais e climáticos, sendo uma plataforma dedicada ao levantamento de informações através de colaboração coletiva.

O método baseado em SIG se destaca pela maior precisão no resultado da classificação, mas depende de muitos dados sobre o uso e cobertura do solo que muitas vezes não estão disponíveis, o que leva a existência do método combinado, que busca criar uma complementação entre os métodos para otimizar a classificação. O método manual continua a ser utilizado e possui novas metodologias, como a “coarse to fine” (grosseiro ao fino) de Kotharkar e Bagade [4], e o método combinado, que junta os demais

métodos a fim de produzir um resultado mais representativo na classificação, tendo em vista que pode haver falha na classificação de algumas configurações urbanas, tais como a altura dos edifícios.



**Figura 2 - Gráfico indicando a parcela de artigos publicados por método de classificação. Fonte: Elaboração própria**

Os programas mais utilizados para a classificação refletem o predomínio do método de sensoriamento remoto desenvolvido pela plataforma WUDAPT, que utiliza o Google Earth e o SAGA GIS o mapeamento das ZCL (Figura 3). Vale destacar que 22 publicações não informaram o programa utilizado para a classificação e o LCZ Generator que, mesmo sendo utilizado em apenas um artigo, se trata de uma nova versão do método do projeto WUDAPT e foi apresentado por Demuzere et al [5]. Inicialmente, o método de classificação WUDAPT dependia, por parte da pessoa responsável pela classificação, da aquisição de imagens Landsat, da preparação das imagens no programa SAGA GIS e da classificação das áreas nesse mesmo programa. O LCZ Generator eliminou esses passos, podendo se tornar importante na classificação em função da otimização do processo.

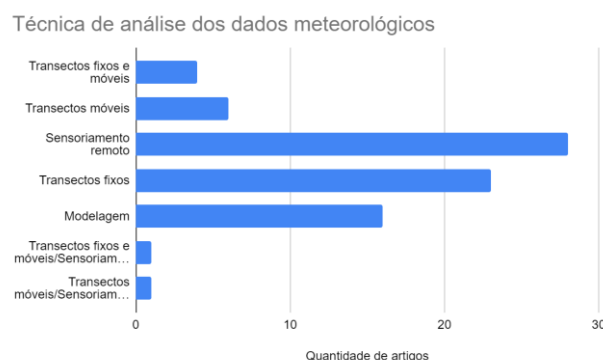


**Figura 3 - Gráfico indicando os programas utilizados na classificação das ZCL e a quantidade de artigos que utiliza esses programas. Fonte: Elaboração própria**

Outra observação importante está relacionada a análise dos dados meteorológicos, que, apesar das ZCL terem sido criadas para estudos da temperatura do ar da ICU, existe

uma relevante participação do uso da temperatura de superfície através do sensoriamento remoto (Figura 4). Dois fatores podem ajudar a explicar tal fenômeno que seriam:

1. Facilidade de obtenção dos dados de temperatura com uma grande resolução espacial e temporal, diferentemente dos transectos fixos e móveis que dependem de uma grande rede de sensores e de dados históricos;
2. As restrições impostas pela pandemia à realização de idas à campo.



**Figura 4 - Gráfico indicando as técnicas de análise utilizados e a quantidade de artigos que utiliza esses programas. Fonte: Elaboração própria**

Os transectos fixos e/ou móveis ainda assim são os mais utilizados, ao considerar as diferentes combinações encontradas, e suas posições e trajetórias podem ser melhor definidas de acordo com as ZCL existentes na área urbana. Isso facilita inclusive a implementação de redes permanentes de medição de dados meteorológicos na cidade, como realizado na Hungria por Skarbit et al [6]. Os transectos fixos permitem uma excelente resolução temporal das temperaturas, podendo até ser num intervalo de poucos minutos, o que possibilita identificar como a ICU se desenvolve em diferentes horários do dia. Há que se destacar a modelagem em razão de que a metodologia de ZCL permite um melhor detalhamento urbano nas simulações, viabilizando um resultado mais correto das projeções realizadas, o que já pode ser realizado no programa WRF.

A medição de temperatura da superfície utilizou principalmente o programa Landsat (Figura 5), utilizando principalmente o satélite 8, com um dos artigos utilizando também o 5 e o 7 a fim de obter um maior recorte de tempo. Após o Landsat podemos ver o MODIS e o ASTER sendo utilizados, com destaque para a obtenção de informações da temperatura da superfície a noite, o que não é disponível no Landsat, e é relevante tendo em vista que a intensidade da ICU tende a ser maior no início da noite.



**Figura 5 - Gráfico indicando as plataformas/equipamentos utilizados para obtenção da temperatura de superfície e a parcela de artigos que as utilizou. Fonte: Elaboração própria**

Por fim, é importante destacar a percepção de uma continuidade nos estudos utilizando as ZCL, tendo em vista que artigos mais recentes possuem uma menor descrição do processo de classificação por utilizar dados de estudos anteriores para realizar novas análises nas ZCL já classificadas. Um exemplo é Beckmann [7], que pesquisou sobre limiares de temperaturas dentro de apartamentos tomando como base a classificação de ZCL realizada por Beck [8], que havia feito uma análise da temperatura do ar nas diferentes zonas.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante das metodologias analisadas, destacamos a relevância da implementação da classificação em Zonas Climáticas Locais, a fim de descrever com maior especificidade as características da diversidade de uso e cobertura do solo, e sua consequente influência na temperatura do ar. As ZCL têm se provado eficientes em refletir a influência das diferentes configurações do espaço urbano e rural, então se tornam um meio de refinar e complementar as investigações realizadas na ICU da cidade, possibilitando assim também a comparação entre cidades diferentes bem como a comparação entre zonas iguais, mas presentes em diferentes pontos de uma mesma cidade.

A existência de diferentes metodologias para a classificação colabora com as diferentes condições e realidades encontradas ao redor do planeta, facilitando a realização da classificação mesmo em uma realidade onde os dados sobre o uso e ocupação do solo não existem ou são escassos, como é o caso do método de classificação realizado por sensoriamento remoto. Esse método se destaca não só pelo aproveitamento de imagens e programas disponibilizados gratuitamente, como pelo fato de a maior parte dos estudos que utilizam esse método serem parte de um projeto que busca organizar a informação acerca das cidades ao redor do planeta.

No que se refere à obtenção e análise dos dados meteorológicos, se faz importante observar as limitações de tempo e de dados disponíveis. O período de primavera e

verão são os mais importantes em razão exibirem elevadas temperaturas. A análise da ilha de calor superficial por meio do sensoriamento remoto permite uma análise preliminar da extensa área urbana, destacando os principais pontos e orientando a condução de outros estudos que investiguem a temperatura do ar em pontos mais críticos da área urbana visando a compreensão das causas das elevadas temperaturas a fim de que seja possível selecionar e implementar medidas mitigatórias que adaptem a cidade as mudanças do clima em escala local e global.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] IPCC. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission path-ways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. 2018.
- [2] STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 2, p. 200-217, 2011.
- [3] STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.
- [4] KOTHARKAR, R.; BAGADE, A. Evaluating urban heat island in the critical local climate zones of an Indian city. *Landscape and Urban Planning*, v. 169, p. 92-104, 2018. DEMUZERE, M.;
- [5] KITTNER, J.; BECHTEL, B. LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps. *Frontiers in Environmental Science*, 2021.
- [6] SKARBIT, N. et al. Employing an urban meteorological network to monitor air temperature conditions in the 'local climate zones' of Szeged, Hungary. *International Journal of Climatology*, v. 37, p. 582-596, 2017.
- [7] BECKMANN, S. K.; HIETE, M.; BECK, C. Threshold temperatures for subjective heat stress in urban apartments—Analysing nocturnal bedroom temperatures during a heat wave in Germany. *Climate Risk Management*, v. 32, p. 100286, 2021.
- [8] BECK, C. et al. Air temperature characteristics of local climate zones in the Augsburg urban area (Ba-varia, southern Germany) under varying synoptic conditions. *Urban Climate*, v. 25, p. 152-166, 2018.