XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8718

Mapeamento de ferramentas computacionais para simulação de ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática da literatura

Mapping computational tools for urban heat island simulation: a systematic literature review

Clarissa Sartori Ziebell
UFRGS | Porto Alegre | Brasil | clarissa.ziebell@ufrgs.br
Marília Guimarães Rodrigues
UFG | Goiânia | Brasil |mariliagr.arq@gmail.com
Ernestina Rita Meira Engel
UFSC | Florianópolis | Brasil | ernestinaengel@gmail.com
Gabriela Meller
UFPel | Pelotas | Brasil | gabrielameller0@gmail.com
Eduardo Grala da Cunha
UFPel | Pelotas | Brasil | eduardogralacunha@yahoo.com.br

Resumo

A intensificação das ilhas de calor urbanas é um dos principais desafios do ambiente construído, afetando o conforto térmico, a saúde pública, o desempenho energético e a qualidade ambiental. Diante disso, a simulação computacional destaca-se como ferramenta essencial para análise e planejamento urbano. Este estudo mapeia as principais plataformas utilizadas em pesquisas sobre o tema, por meio de uma revisão sistemática de artigos (2021–2026) na base ScienceDirect, com apoio do software StArt. Dos 825 estudos identificados, 538 foram pré-selecionados e 473 compõem a amostra final. Os resultados apontam a predominância do ENVI-met e de abordagens em CFD, enquanto outras ferramentas, como WRF/WRF-UCM, UWG, EnergyPlus, SOLWEIG e Ladybug Tools, atuam de forma complementar conforme a escala e os objetivos da análise, contribuindo para escolhas metodológicas mais adequadas no enfrentamento do calor urbano.

Palavras-chave: Ilha de calor urbana. Microclima urbano. Simulação computacional.

Abstract

The intensification of urban heat islands is one of the main challenges of the built environment, affecting thermal comfort, public health, energy performance, and environmental quality. In this context, computational simulation stands out as an essential tool for urban analysis and planning. This study maps the main platforms used in research on the topic through a systematic review of articles (2021–2026) in the ScienceDirect database, supported by the StArt software. Of the 825 studies identified, 538 were pre-selected and 473 comprised the final sample. The results indicate the predominance of ENVI-met and CFD-based approaches, while other tools such as WRF/WRF-UCM, UWG, EnergyPlus, SOLWEIG, and Ladybug Tools play complementary roles depending on the scale and objectives of the analysis, contributing to more appropriate methodological choices in addressing urban heat.

Keywords: *Urban heat island. Urban microclimate. Computational simulation.*

ZIEBELL, C. S; RODRIGUES, M. G; MELLER, G; CUNHA, E. G. Mapeamento de ferramentas computacionais para simulação de ilhas de calor urbanas: uma revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8718

INTRODUÇÃO

O fenômeno das ilhas de calor urbanas configura-se como uma das manifestações mais relevantes das transformações ambientais associadas à urbanização, caracterizando-se por regiões em que as temperaturas do ar e das superfícies são superiores àquelas observadas em áreas rurais circundantes [1]. Tem como principais causas o uso de materiais de construção de alta capacidade térmica e de baixa refletância, o que não ocorre no meio rural e a formação de configurações do tipo cânion, comuns no meio urbano, que interferem nas trocas de calor do recinto urbano com o ar [2]. Como consequência, observa-se o aumento do consumo de energia com climatização pelas edificações [3, 4], a redução do conforto térmico [5], prejuízos à saúde humana [6] e consequentes impactos econômicos associados ao maior consumo energético [1].

Simulações computacionais podem ser muito úteis para a melhor compreensão da formação de ilhas de calor, permitindo um melhor entendimento de como a geometria das edificações afeta o clima urbano e o consumo energético das edificações [1]. Além disso, essas simulações auxiliam no estudo de estratégias de mitigação das consequências das ilhas de calor, bem como no planejamento urbano e na tomada de decisão projetual [5]. Dessa forma, a modelagem computacional se consolida como uma ferramenta relevante tanto para a análise quanto para o suporte ao planejamento do ambiente construído.

Entretanto, a escolha da ferramenta de simulação computacional não é neutra, pois os softwares diferem quanto à escala, simplificações geométricas e representação de variáveis climáticas e energéticas, sendo mais adequados a objetivos que variam de análises ao nível do pedestre a estudos urbanos e cenários futuros [7].

Além disso, observa-se na literatura recente um movimento de ampliação do escopo analítico dessas ferramentas, com crescente integração entre microclima urbano, desempenho térmico das edificações e consumo de energia [4, 5]. Esse avanço reforça o caráter multiescalar das investigações e amplia a relevância da simulação computacional em estudos de resiliência térmica, conforto ambiental e planejamento urbano [7].

Apesar desse avanço, ainda há uma lacuna na sistematização das ferramentas computacionais utilizadas na simulação de ilhas de calor urbanas, especialmente quanto aos critérios de escolha, limitações e adequação às diferentes escalas e objetivos de análise [7]. Essa ausência de síntese dificulta a comparabilidade entre estudos, limita a reprodutibilidade dos resultados e pode comprometer a seleção de métodos adequados para diferentes contextos de pesquisa [6].

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo mapear as principais plataformas utilizadas na modelagem de ilhas de calor urbanas, buscando identificar os softwares mais comumente empregados em pesquisas científicas relacionadas à ilha de calor urbana, bem como suas principais aplicações, escalas de análise, vantagens e limitações.

MÉTODO

O presente estudo foi conduzido por meio de uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de mapear as principais plataformas computacionais utilizadas na modelagem de ilhas de calor urbanas. A estratégia metodológica seguiu uma abordagem estruturada, envolvendo etapas de definição do protocolo de pesquisa, seleção dos estudos e análise dos resultados, conforme práticas consolidadas em revisões sistemáticas.

A etapa inicial consistiu na definição da base de dados e dos critérios de busca. Foram considerados artigos científicos publicados entre os anos de 2021 e 2026 na base ScienceDirect. As buscas foram realizadas a partir da combinação das seguintes palavras-chave: "*heat island*", "*urban microclimate*", "*simulation*" e "*thermal comfort*". A coleta e organização dos estudos foram realizadas com o auxílio do software StArt (*State of the Art through Systematic Review*), versão 3.3 Beta 03, desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos [8].

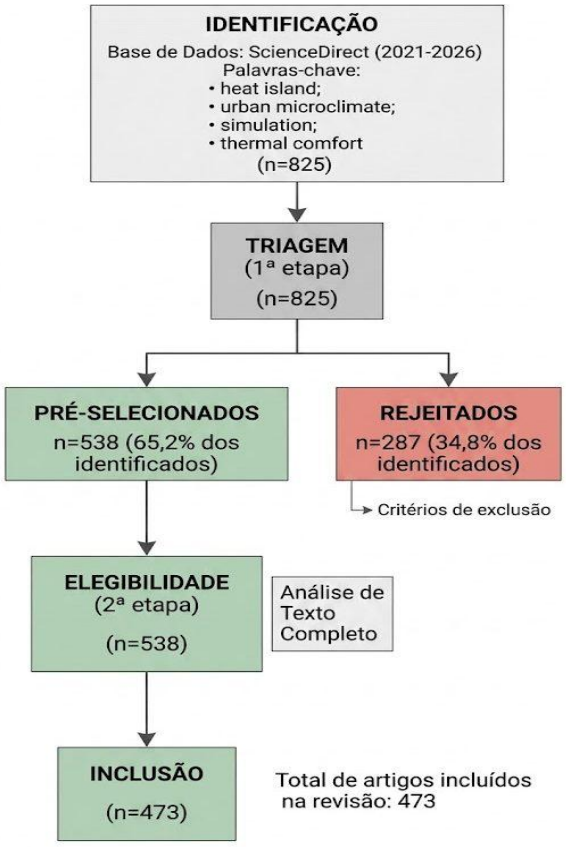
Na sequência, foram definidos critérios de inclusão e exclusão, visando garantir a aderência dos estudos ao objetivo da pesquisa. Como critérios de inclusão, foram considerados: (i) estudos que apresentassem os termos "*heat island*", "*urban microclimate*", "*simulation*" e "*thermal comfort*"; (ii) artigos que utilizassem, em sua metodologia, ferramentas ou softwares para análise do microclima urbano; e (iii) trabalhos publicados nos últimos cinco anos. Como critérios de exclusão, foram adotados: (i) artigos exclusivamente teóricos ou de revisão; (ii) estudos que não utilizaram simulação para análise dos resultados; e (iii) pesquisas voltadas exclusivamente ao desempenho de edificações, sem abordagem do microclima urbano.

A etapa de seleção dos estudos foi realizada em duas fases. Na primeira, foi conduzida uma triagem preliminar com base na leitura de títulos, resumos e palavras-chave, identificando estudos potencialmente relevantes. Na segunda fase, foi realizada a leitura completa dos artigos selecionados, possibilitando a aplicação mais rigorosa dos critérios estabelecidos e a definição da amostra final. A busca foi iniciada em 11 de fevereiro de 2026.

Após a definição do conjunto final de artigos, procedeu-se à etapa de análise e síntese dos dados. Nessa fase, realizou-se o mapeamento das ferramentas e softwares, considerando sua frequência de uso e aplicação em diferentes tipos de investigação científica relacionados ao fenômeno das ilhas de calor urbanas. A análise buscou identificar padrões de uso, tendências metodológicas e relações entre as ferramentas e os objetivos das pesquisas, permitindo uma compreensão estruturada do estado da arte na área. A Figura 1 apresenta um fluxograma da revisão sistemática da literatura realizada neste estudo.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8718

Figura 1: Fluxograma da revisão sistemática da literatura



Fonte: os autores (2026).

A base ScienceDirect foi utilizada por reunir um amplo acervo de periódicos científicos de elevada qualidade e relevância para a área de estudo, proporcionando um conjunto robusto e representativo de publicações. A amostra obtida, composta por 473 artigos publicados entre 2021 e 2026, mostrou-se suficiente para atender aos objetivos da pesquisa.

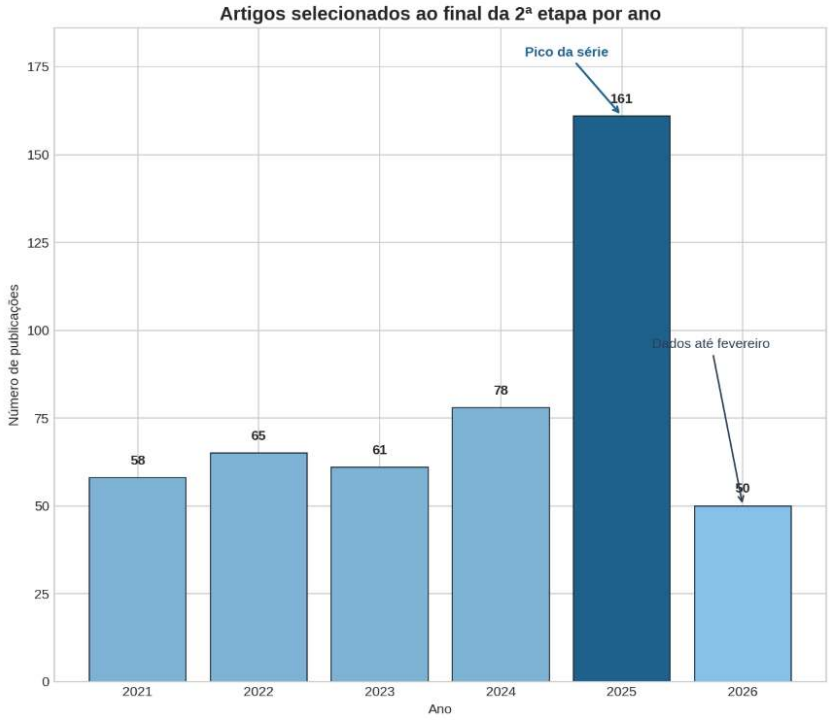
Ressalta-se, entretanto, que a inclusão de outras bases de dados, como Scopus, Web of Science e Google Scholar, poderia ampliar ainda mais a cobertura da literatura e possibilitar a identificação de estudos adicionais. Nesse sentido, pesquisas futuras podem incorporar múltiplas bases de indexação, ampliando o escopo da revisão e proporcionando uma análise ainda mais abrangente sobre o tema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra a distribuição anual dos artigos mantidos ao final da segunda etapa. Observa-se crescimento no uso de simulações para análise do microclima urbano ao longo dos últimos anos, com destaque para 2025, que concentrou 161 publicações, o maior valor da série. Em 2026, até fevereiro, já haviam sido identificados 50 artigos, indicando a continuidade do interesse científico na área.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8718

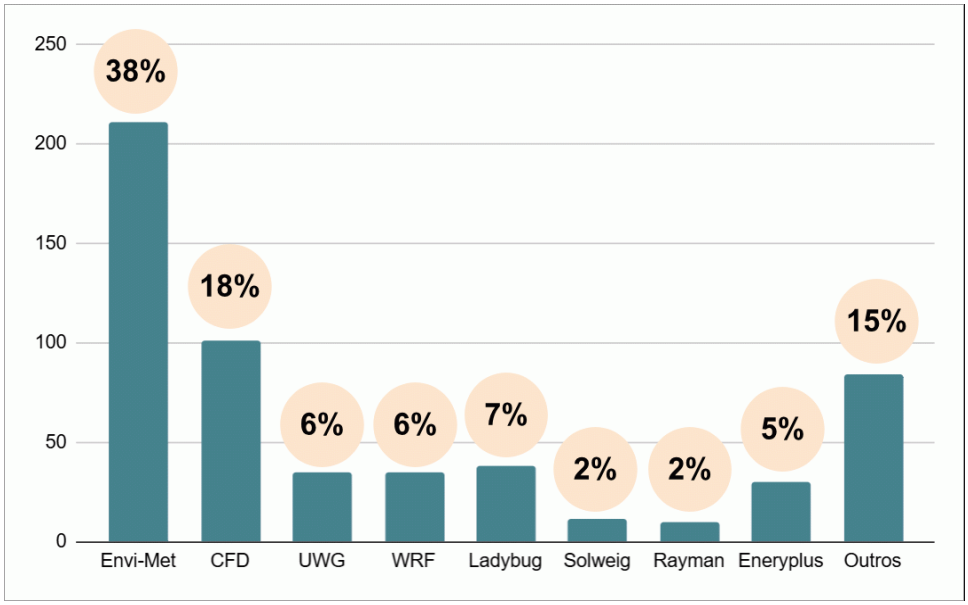
Figura 2: Número de publicações por ano



Fonte: os autores (2026).

A partir dos artigos selecionados (*n* = 473), pôde-se identificar quais softwares e ferramentas são mais predominantes. Ressalta-se aqui que, por vezes, um único trabalho fez uso de mais do que uma ferramenta. A Figura 3 apresenta os resultados encontrados, com destaque para o Envi-Met e ferramentas de análise através da Dinâmica de Fluidos Computacional (*Computer Fluid Dynamics* - CFD).

Figura 3: Distribuição de artigos por ferramentas



Fonte: os autores (2026).

MAPEAMENTO POR TIPO DE PESQUISA CIENTÍFICA

Como muitos estudos abordam simultaneamente diferentes aspectos das ilhas de calor urbanas, o mapeamento temático foi organizado em grupos sobrepostos, permitindo que um mesmo artigo integrasse com mais de um eixo de investigação, tais como morfologia urbana, vegetação e energia [9]. Desse modo, os totais identificados em cada grupo temático não correspondem a categorias mutuamente excludentes, mas sim a eixos recorrentes de investigação no conjunto final dos artigos analisados.

A Figura 4, destaca as ferramentas mais utilizadas em cada eixo, evidenciando padrões metodológicos e facilitando a comparação entre os grupos. Isso também permite verificar as principais plataformas adotadas conforme o objeto de estudo.

Figura 4: Mapeamento temático por grupos e ferramentas

	Envi-Met	CFD	Energyplus	WRF	UWG	Ladybug Tools	Solweig	Rayman
Morfologia	109	56		11	14	20	4	4
Vegetação, parques e infraestrtura verde-azul	175	47		11	5	4	9	8
Materiais, albedo, pavimentos e coberturas	73	28	8	7	4	7	1	2
Validação, modelos e workflows	124	81	16	21	18	11	2	
Clima futuro	78	35	11	18	12	6		
Energia urbana e interface edifício-microclima	44	25	22	9	19			

Fonte: elaborado pelos autores.

No grupo referente à morfologia urbana, cânions urbanos e forma urbana, foram identificados 278 artigos. Nesse conjunto, observou-se predominância do uso do ENVI-met (109 estudos), seguido CFD, com n = 56, UWG, com *n* = 14, e WRF/WRF-UCM, com *n* = 11. Esse resultado evidencia que as pesquisas voltadas à configuração espacial das cidades tendem a privilegiar ferramentas capazes de simular, em microescala, os efeitos de parâmetros como geometria urbana, orientação das vias, adensamento construtivo, relação altura/largura e fator de visão do céu sobre o microclima [10].

Sobre os estudos de vegetação, parques e infraestrutura verde-azul, foram identificados 286 artigos, um dos mais expressivos deste levantamento. Novamente, o ENVI-met aparece como ferramenta dominante, com 175 ocorrências, seguido de CFD (*n* = 47), WRF/WRF-UCM (*n* = 11), SOLWEIG (*n* = 9) e RayMan (*n* = 8). A forte presença dessas ferramentas indica que esse eixo de pesquisa está diretamente associado à avaliação de estratégias de mitigação térmica baseadas em arborização urbana, sombreamento, evapotranspiração e qualificação de espaços livres. Em geral, tais estudos buscam verificar em que medida a presença de vegetação e água contribui para a redução da temperatura do ar e da temperatura radiante média, além de melhorar as condições de conforto térmico na escala do pedestre [11].

No grupo temático relacionado a materiais, albedo, pavimentos e coberturas, foram contabilizados 153 artigos. Nesse conjunto, o ENVI-met também se destaca como

principal ferramenta, com 73 ocorrências, seguido por CFD (*n* = 28), EnergyPlus (*n* = 8), WRF/WRF-UCM (*n* = 7) e Ladybug Tools (*n* = 7). Esses dados sugerem que as investigações sobre superfícies urbanas frias, propriedades radiativas e comportamento térmico dos materiais [9] continuam fortemente vinculadas à modelagem microclimática.

Já o grupo de validação, desenvolvimento de modelos e *workflows* apresentou o maior volume de ocorrências, com 383 artigos, o que demonstra o elevado peso metodológico dessa dimensão na produção científica recente. Nesse caso, as ferramentas mais recorrentes foram ENVI-met (*n* = 124), CFD (*n* = 81), WRF/WRF-UCM (*n* = 21), UWG (*n* = 18) e EnergyPlus (*n* = 16). A expressividade desse agrupamento sugere um campo em processo de amadurecimento, no qual não se busca apenas aplicar ferramentas consolidadas, mas também validar resultados com dados empíricos [12], comparar modelos [13], propor acoplamentos entre plataformas [13] e desenvolver novos fluxos computacionais [12].

No eixo de clima futuro, ondas de calor, escala urbana e mapeamento térmico, foram identificados 214 artigos. As ferramentas mais recorrentes nesse grupo foram ENVI-met (*n* = 78), CFD (*n* = 35), WRF/WRF-UCM (*n* = 18), UWG (*n* = 12) e EnergyPlus (*n* = 11). A distribuição observada indica uma ampliação do foco analítico, com maior presença de plataformas voltadas a abordagens multiescalares e à simulação de processos urbanos em cenários climáticos mais complexos [14].

Por fim, no grupo referente à energia urbana e interface edifício-microclima, foram identificados 148 artigos. As ferramentas mais recorrentes foram ENVI-met (*n* = 44), CFD (*n* = 25), EnergyPlus (*n* = 22), UWG (*n* = 19) e WRF/WRF-UCM (*n* = 9). Esse resultado aponta para uma vertente de pesquisa em expansão, na qual a análise das ilhas de calor urbanas deixa de se restringir ao espaço externo e passa a incorporar questões relacionadas ao desempenho energético das edificações, ao sobreaquecimento interno e à demanda de resfriamento [9].

O ENVI-met se destaca em estudos de microescala urbana, especialmente voltados ao conforto térmico, vegetação, materiais urbanos e morfologia urbana. Já os estudos baseados em CFD priorizam análises de ventilação, distribuição do vento, trocas convectivas e refinamento numérico. Vale ressaltar, contudo, que muitos dos estudos que utilizam o ENVI-met também incorporam simulações de CFD, uma vez que a ferramenta dispõe de recursos voltados a esse tipo de análise. Assim, nota-se que a escolha das ferramentas depende da escala de análise, das variáveis investigadas e dos objetivos de cada pesquisa.

CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FERRAMENTAS

O ENVI-met é um software de simulação microclimática tridimensional, compatível com outros programas por meio de plugins, capaz de calcular variáveis como radiação, evapotranspiração, temperaturas superficiais e índices de conforto térmico, como PET e UTCI [15]. Trata-se de um software confiável para simulações térmicas urbanas em microescala, incluindo interações entre superfícies, vegetação e atmosfera. Apresenta, contudo, alta complexidade e elevado tempo de processamento [16].

CFD (*Computational Fluid Dynamics*) é uma técnica numérica para simular escoamento de ar e transferência de calor. Em simulação energética, é usada para descrever com mais detalhe como o ar se move e como o calor é trocado em edifícios e equipamentos, complementando modelos de energia tradicionais [17].

O *Urban Weather Generator* (UWG) é uma ferramenta que estima a temperatura e a umidade do ar do dossel urbano por hora usando dados meteorológicos de uma estação meteorológica rural. Assim, partindo de um arquivo *epw* (rural) gera-se um novo arquivo meteorológico *.epw* que captura o efeito de ilha de calor urbana [18].

O *Weather Research and Forecast Model* (WRF) é um sistema de previsão numérica do tempo em mesoescala, voltado à pesquisa atmosférica e à previsão operacional. Pode ser utilizado em diversas aplicações meteorológicas e diferentes escalas. Tem como vantagem a produção de simulações baseadas em condições atmosféricas reais [19]. A Figura 5 apresenta um resumo das principais ferramentas identificadas, a escala de aplicação, principais aplicações, vantagens e limitações.

A sistematização apresentada evidencia diferenças entre as ferramentas quanto à escala do estudo, aplicação, detalhamento físico e complexidade operacional. Em conjunto, elas permitem abordar o calor urbano sob múltiplas perspectivas, reforçando a importância de escolhas metodológicas alinhadas aos objetivos da pesquisa.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8718

Figura 5: Principais ferramentas identificadas e suas características

Ferramenta	Escala	Principais aplicações	Vantagens	Limitações
ENVI-met	Microescala urbana	Conforto térmico de pedestres; vegetação; materiais urbanos; morfologia urbana; pavimentação	Simulação tridimensional integrada entre superfícies, vegetação e atmosfera; ampla difusão na literatura; adequado para estudos em espaços urbanos abertos	Alta complexidade operacional; elevado tempo de processamento; necessidade de parametrização cuidadosa
CFD	Microescala com alto refinamento	Ventilação urbana; escoamento do ar; turbulência; trocas convectivas; validação física	Alto controle sobre os processos físicos representados; boa precisão para estudos de vento	Elevado custo computacional; maior exigência técnica; maior complexidade de modelagem
UWG	Escala urbana/ intermediária	Geração de arquivos climáticos urbanos; energia urbana; interface edifício-microclima; cenários urbanos	Boa eficiência computacional; integração com simulação energética; adequado a estudos urbanos mais amplos	Simplificação geométrica; menor detalhamento de efeitos microclimáticos localizados
WRF/ WRF-UCM	Mesoescala e clima urbano	Ondas de calor; cenários futuros; downscaling climático; clima urbano em escala mais ampla	Simulação baseada em condições atmosféricas reais; estudos multiescalares e cenários climáticos complexos	Menor detalhamento ao nível do pedestre; maior exigência técnica e computacional
EnergyPlus	Edificação/ interface urbana	Desempenho térmico e energético; demanda de resfriamento; interface com microclima	Forte aplicação em simulação energética; útil na articulação entre clima urbano e edifício	Não é, isoladamente, um modelo microclimático urbano completo
SOLWEIG / RayMan	Escala local e análise radiativa	Temperatura radiante média; estresse térmico; conforto térmico	Adequados para estudos com foco em radiação e índices térmicos	Menor capacidade de representar o microclima urbano de forma integrada
Ladybug Tools	Fluxos paramétricos/projetuais	Comparação rápida de cenários; apoio ao projeto; análises paramétricas	Agilidade; integração com fluxo de projeto; apoio à tomada de decisão	Dependência de integração com outros motores de simulação

Fonte: elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão evidenciou que a literatura recente sobre simulação de ilhas de calor urbanas está estruturada em torno de diferentes ferramentas computacionais, cuja escolha varia conforme a escala de análise, as variáveis investigadas e os objetivos de pesquisa. No conjunto analisado, o ENVI-met consolidou-se como a ferramenta

mais recorrente, especialmente em estudos de microescala urbana voltados ao conforto térmico, vegetação, materiais e morfologia urbana.

As abordagens baseadas em CFD configuram-se como o segundo principal eixo metodológico, sendo mais utilizadas em análises que demandam maior detalhamento da ventilação urbana, escoamento do ar e trocas convectivas. Para estudos em escala urbana e cenários climáticos mais amplos, destacam-se ferramentas como WRF/WRF-UCM e UWG, enquanto EnergyPlus e UWG assumem papel relevante na interface entre microclima urbano e desempenho energético das edificações. Já ferramentas como SOLWEIG, RayMan e Ladybug Tools aparecem associadas a análises específicas, como radiação, conforto térmico e fluxos paramétricos aplicados ao projeto.

Os resultados indicam a existência de uma estrutura multiescalar de ferramentas, na qual o ENVI-met domina a microescala, modelos atmosféricos atendem à mesoescala e ferramentas energéticas e paramétricas complementam a análise em abordagens integradas. Nesse contexto, a principal contribuição deste estudo consiste em demonstrar que a escolha da ferramenta deve ser orientada pela adequação entre método, escala e problema de pesquisa, e não apenas por sua frequência de uso. Dessa forma, o trabalho contribui para aproximar a revisão bibliográfica das demandas da Tecnologia do Ambiente Construído, ao oferecer subsídios para escolhas metodológicas mais consistentes em pesquisas, projetos e estratégias de mitigação do calor urbano.

DECLARAÇÃO

Declaramos que ferramentas de Inteligência Artificial Generativa foram utilizadas neste trabalho nas seguintes etapas: *GensPark* foi utilizada para conferência dos resultados, na etapa final do trabalho. Todo o conteúdo gerado e revisado criticamente e validado pelos autores, que assumem integralmente responsabilidade pela originalidade e veracidade do texto final, em conformidade com a Portaria CNPQ nº 2.664/2026.

REFERÊNCIAS

[1] GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor:** como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução de Sílvia Helen Gonçalves. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

[2] MASCARÓ, Lúcia Raffo de; MASCARÓ, Juan José. **Ambiência urbana.** 4. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2020.

[3] TEHRANI, Alireza Attarhay; SOBHANINIA, Saeideh; NIKOOKAR, Niloofar; LEVINSON, Ronnen; SAILOR, David J.; AMARIPADATH, Deepak. Data-driven approach to estimate urban heat island impacts on building energy consumption. **Energy**, v. 316, p. 134508, fev. 2025. DOI: http://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134508.

[4] LI, Renge; HUANG, Chenyu; XIN, Weilin; YE, Jiahong; ZHANG, Xue; QU, Rong; WANG, Jinyu; YUAN, Liang; YAO, Jiawei. Data-driven optimization reveals the impact of Urban Heat Island effect on the retrofit potential of building envelopes. **Building And Environment**, v. 269, p. 112367, fev. 2025. DOI: http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112367.

[5] GONÇALVES, Pedro Henrique; RIBEIRO, João Pedro Silva; ZIEBELL, Clarissa Sartori; RODRIGUES, Marília Guimarães; ENGEL, Ernestina Rita Meira; PASSOS, Tábata Hada. Estudo da interferência da camada limite planetária (CLP) no efeito da ilha de calor urbano (ICU) através da simulação urban weather generator (UWG). In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17.,2023. **Anais [...]**, 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.3762. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/3762. Acesso em: 20 mar. 2025.

[6] AKKOSE, Gizem; AKGUL, Cagla Meral; DINO, Ipek Gursel. Educational building retrofit under climate change and urban heat island effect. **Journal Of Building Engineering**, v. 40, p. 102294, ago. 2021. DOI: http://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102294.

[7] JÄNICKE, Britta; MILOŠEVIĆ, Dragan; MANAVVI, Suneja. Review of user-friendly models to improve the urban micro-climate. **Atmosphere**, v. 12, n. 10, p. 1291, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/atmos12101291

[8] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar). Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES). **StArt: State of the Art through Systematic Review**. São Carlos, 2022. Disponível em:https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1. Acesso em: 1 maio 2025.

[9] JI, Lili; GAUR, Abhishek; LAOUADI, Abdelaziz. Integrating site-level and building-level strategies to improve neighbourhood and building thermal and energy performance. **Energy And Buildings**, v. 350, p. 116676, jan. 2026. DOI: http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116676.

[10] MOHITE, Shivanjali; SURAWAR, Meenal. Impact of urban street geometry on outdoor pedestrian thermal comfort during heatwave in Nagpur city. **Sustainable Cities And Society**, v. 108, p. 105450, ago. 2024. DOI: http://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105450.

[11] MA, Xuan; CHEN, Haoyang; LU, Yuyang; LUO, Qian; YAN, Fangxi; LI, Tongxin; ZHAO, Jingyuan; DING, Hua. Evaluating blue-green infrastructure for outdoor thermal comfort and energy efficiency in a university campus microclimate: a case study from Xi'an, China. **Energy And Buildings**, v. 350, p. 116640, jan. 2026. DOI: http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116640.

[12] SAADATJOO, Paria; MORADI, Hamed; HAMDAN, Mohammad; FAROUQ, Mahmoud Murtala; MIRZAEI, Parham A. On the oversimplification of neighborhood impact in urban microclimate and building energy models. **Building And Environment**, v. 283, p. 113301, set. 2025. DOI: http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113301.

[13] ZHU, Sijie; WANG, Hui; SU, Meifang; SHI, Xing; XIONG, Weiting. Spatial and diurnal dynamics of heat mitigation strategies: a comparative analysis using an open-source CFD–thermal comfort workflow coupling vegetation heat and moisture. **Sustainable Cities And Society**, v. 136, p. 107080, jan. 2026. DOI: http://doi.org/10.1016/j.scs.2025.107080.

[14] ZOU, Jiwei; YU, Yichen; MORTEZAZADEH, Mohammad; LU, Henry; GAUR, Abhishek; WANG, Liangzhu. Evaluating climate change impacts on building level steady-state and dynamic outdoor thermal comfort. **Building And Environment**, v. 271, p. 112604, mar. 2025. DOI: http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112604

[15] ENVI_MET. **Leading 3D Modelling Software for Urban Cooling and Climate Adaptive Planning.** 2026. Disponível em: https://envi-met.com/. Acesso em: 20 maio 2026.

[16] NOVAES, Gabriel Bonansea de Alencar; MONTEIRO, Leonardo Marques. Calibração do ENVI-met para simulações termodinâmicas de espaços urbanos abertos em dias quentes. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 275-297, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000400640.

[17] SINGH, M.; SHARSTON, R. A literature review of building energy simulation and computational fluid dynamics co-simulation strategies and its implications on the accuracy of energy predictions. **Building Services Engineering Research & Technology**, v. 43, p. 113–138, 2021. DOI: https://doi.org/10.1177/01436244211020465.

[18] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (MIT). **Urban Weather Generator (UWG) 4.1.** Disponível em: https://urbanmicroclimate.scripts.mit.edu/uwg.php. Acesso em: 10 mar. 2025.

[19] NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH. **Weather Research and Forecasting Model (WRF).** Boulder, 2026. Disponível em: https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf. Acesso em: 5 maio 2026.