

Análise de conforto e desempenho termoenergético de edificações residenciais considerando o entorno urbano no programa computacional EnergyPlus.

Analysis of Thermal Comfort and Thermo-Energetic Performance of Residential Buildings Considering the Urban Surroundings in the EnergyPlus Software.

Laíza Fernandes Diniz, Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

laiza.98lfd@gmail.com

Profa. Dra. Camila Carvalho Ferreira, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

camilaccferreira@yahoo.com

Número da sessão temática da submissão – [04]

Resumo

O avanço acelerado da urbanização e as mudanças climáticas têm alterado o microclima nas cidades, especialmente em áreas densamente construídas. Diante desse cenário, a pesquisa validou uma metodologia para avaliar o conforto térmico e o desempenho termoenergético de edificações residenciais inseridas em contexto urbano em Belo Horizonte (MG), utilizando o *software* EnergyPlus. O estudo abordou a limitação de simulações convencionais, que frequentemente desconsideram as interações radiativas do entorno urbano, resultando em estimativas imprecisas de carga térmica e consumo de energia. Como estudo de caso, foi modelado um edifício multifamiliar em região adensada, incorporando o seu entorno urbano. Os resultados mostraram que o EnergyPlus, quando configurado apropriadamente, pode representar a radiação de onda longa, demonstrando que a consideração detalhada do entorno aprimora a precisão das simulações e contribui para projetos mais sustentáveis e políticas urbanas eficazes.

Palavras-chave: conforto térmico; desempenho termoenergético; entorno urbano; EnergyPlus.

Abstract

The accelerated pace of urbanization and ongoing climate change have significantly altered urban microclimates, particularly in densely built areas. In this context, this study validated a methodology for evaluating the thermal comfort and thermo-energetic performance of residential buildings situated in the urban environment of Belo Horizonte (MG), using EnergyPlus. The research addressed the limitations of conventional simulation approaches, which frequently neglect radiative interactions within the surrounding urban fabric, leading to inaccuracies in thermal load and energy demand estimates. A multifamily building located in a highly compacted area was modeled as a case study, incorporating its immediate urban context. The findings indicate that, when properly configured, EnergyPlus can effectively represent longwave radiation, demonstrating that detailed consideration of the built environment enhances simulation accuracy and supports the development of more sustainable building designs and evidence-based urban policies.

Keywords: thermal comfort; thermo-energetic performance; urban surroundings; EnergyPlus.

1. Introdução

O conceito de cidades do futuro envolve espaços planejados não apenas para atender às necessidades básicas de habitação, mas também para promover o bem-estar e a qualidade de vida da população (GIVONI, 1998). Essa perspectiva torna-se ainda mais relevante diante do acelerado crescimento urbano e das mudanças climáticas, que afetam diretamente o conforto ambiental nas áreas adensadas. O processo de urbanização é contínuo e apresenta-se como uma tendência futura para este século (SHARIF, 2023). As cidades, que atualmente abrigam mais de metade da população mundial, devem concentrar quase 70% da população até 2050 (ONU-HABITAT, 2023), sendo, portanto, o principal palco dos desafios ambientais e sociais do século. Isto porque é neste território que se apresentam aumentos de temperatura em virtude dos efeitos combinados das mudanças climáticas e da ilha de calor urbano. Dados recentes apontam que mais de dois bilhões de habitantes urbanos podem enfrentar um aumento adicional de temperatura de pelo menos 0,5 °C até 2040 (ONU-HABITAT, 2024), reforçando a urgência de intervenções eficazes no ambiente urbano.

No ambiente urbano, este aumento de temperatura se refletirá no aumento de consumo de energia para climatização ambiental edilícia. O setor de edificações responde atualmente por cerca de 30% do consumo total de energia em nível global, considerando diferentes fontes energéticas, como eletricidade, combustíveis fósseis e biomassa (IEA, 2022). No contexto brasileiro, esse percentual é ainda mais expressivo quando se observa apenas o consumo de energia elétrica: segundo o Ministério de Minas e Energia, as edificações são responsáveis por aproximadamente 51% do uso de eletricidade no país, englobando os setores residencial, comercial e público (MME, 2022).

Assim, o contexto urbano, quando não devidamente considerado em projetos e análises termoenergéticas, pode comprometer o conforto térmico interno da edificação e subestimar a demanda por condicionamento artificial. Allegrini et al. (2012, p.823-832) demonstraram que soluções como o uso de pintura branca nas fachadas podem ser eficientes em reduzir a carga térmica, mas essa eficácia é significativamente reduzida ao se considerar o entorno urbano. Bouyer et al. (2011, p. 1549-1559), ao acoplar simulações de edificações a modelos urbanos mais realistas, para a cidade de Nantes, França, destacam que a radiação solar é o fator mais determinante no consumo energético, e que a negligência ao entorno leva a distorções nos resultados. Os autores observaram uma diferença significativa entre consumos energéticos simulados em contexto teórico isolado e simulados em ambiente urbano.

Diante disso, busca-se uma metodologia capaz de integrar o entorno urbano e as trocas de calor da edificação, para estimativa do conforto térmico e do desempenho termoenergético de edificações, considerando principalmente o efeito de radiação de onda longa, usualmente desconsiderado no modelo de cálculo convencional do EnergyPlus. O estudo se embasou no trabalho elaborado por Pereira et al. (2021), que avaliou, por meio do EnergyPlus, a influência da refletância do entorno urbano nas trocas de radiação de onda longa e nas cargas térmicas de um edifício comercial inserido em cânion urbano, demonstrando que a consideração dessas interações modifica significativamente a estimativa do desempenho termoenergético das fachadas.

Ao integrar a escala do espaço urbano à simulação térmica da edificação, o trabalho

contribui para uma abordagem mais realista e precisa da análise de desempenho ambiental, fornecendo subsídios tanto para projetos mais eficientes quanto para legislações municipais.

O objetivo deste artigo é aplicar uma metodologia para análise do conforto térmico e do desempenho termoenergético de edificações residenciais, considerando a influência do entorno urbano no ambiente construído, utilizando o EnergyPlus como ferramenta de simulação.

2. Procedimentos Metodológicos

Para avaliar a sensibilidade do programa EnergyPlus para análise do entorno urbano no conforto térmico e desempenho energético de edificações residenciais, foi elaborado um modelo representando o cânion urbano adensado para a aplicação do método de simulação convencional e um método avançado, conforme Pereira et al. (2021), para a cidade de Belo Horizonte (MG). Para tanto, foram realizadas três etapas de simulação:

Modelo A – Edificação isolada (sem elementos sombreadores), simulação de referência e sem influência do entorno;

Modelo B – Edificação com elementos sombreados tridimensionais representando o entorno (radiação de onda curta apenas);

Modelo C - Simulação baseada em zonas térmicas, utilizada para gerar os dados de temperatura superficial externa dos elementos do entorno, empregados posteriormente, e edificação com inserção de zonas térmicas das edificações vizinhas e configuração das trocas de radiação de onda longa, conforme a metodologia proposta.

2.1. Definição do Estudo de Caso

O modelo de referência é um prédio de aproximadamente 30 metros de altura, com 11 andares. Trata-se de um arquétipo representativo de edificações multifamiliares da região sudeste para a classe socioeconômica A, conforme definido por Telles (2016) a partir de levantamento nacional e validação estatística. O modelo é composto por unidades residenciais com três dormitórios, ventilação cruzada, área útil entre 80 e 90 m² e sistemas construtivos em alvenaria de bloco cerâmico, lajes e coberturas em concreto maciço, conforme apontamento da Pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo (PPH, 2019) - Figura 1.

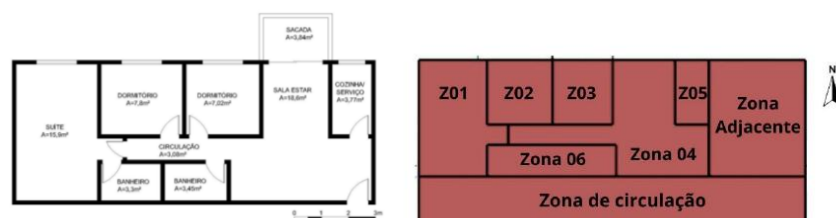


Figura 1: Planta Inicial e Arquétipo Simulado. Fonte: Telles (2016) e Autora (2025).

O entorno foi representado por um cânion urbano composto por edificações adjacentes com altura média de 15 metros e afastamento lateral de 8 metros, reproduzindo a morfologia típica dos bairros adensados de Belo Horizonte (MG) (Figura 2).

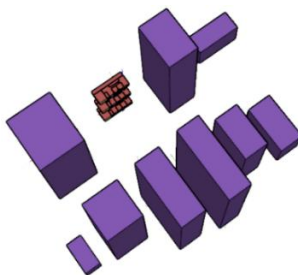


Figura 2: Representação do Entorno. Fonte: Autora (2025).

Foram selecionadas dezoito superfícies externas representativas da envoltória — distribuídas entre diferentes pavimentos e orientações — para a avaliação detalhada das trocas radiativas e do conforto térmico interno (Figura 3).

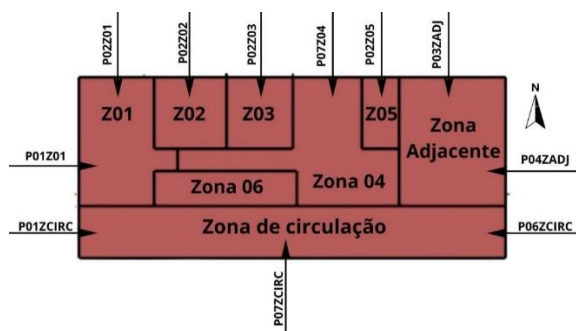


Figura 3: Referenciamento das paredes externas e suas nomenclaturas. Fonte: Autora (2025).

2.2. Modelagem da edificação no *Software* EnergyPlus

As simulações foram efetuadas na versão 24.1 do EnergyPlus. A modelagem geométrica da edificação e do entorno foi inicialmente desenvolvida no *software* SketchUp, por meio da interface do *plugin* OpenStudio, que possibilita a integração entre o ambiente gráfico tridimensional e o mecanismo de simulação do EnergyPlus. A geometria da edificação e do entorno foi representada conforme apresentado no item anterior. As características dos materiais foram especificadas conforme a Tabela 1. Os elementos transparentes foram descritos com vidro comum 3 mm, destacando-se a condutividade térmica de 0,9 W/m·K.

Também foram inseridas cargas internas correspondentes à ocupação (*People*), iluminação (*Lights*) e equipamentos elétricos (*ElectricEquipment*), com base em perfis de uso derivados da Pesquisa de Posses e Hábitos de Consumo (PPH, 2019). Esses perfis foram associados a agendamentos específicos de operação (*Schedule:Compact*), a fim de refletir a dinâmica diária das cargas.

Para os equipamentos elétricos, não foram considerados aparelhos de climatização ativa. A iluminação foi modelada com densidade de 9 W para salas e dormitórios e 20W para cozinhas e banheiros, condizente com padrões atuais de eficiência. A ocupação foi definida com densidade de aproximadamente 02 a 03 pessoas por ambiente. Optou-se por não incluir estratégias de ventilação natural ou controle automatizado de aberturas nos modelos simulados. Essa decisão metodológica fundamenta-se em duas razões principais. Primeiramente, visa-se a eliminação de variáveis adicionais que possam interferir nos

resultados da simulação, a inclusão da ventilação natural adicionaria variabilidade relacionada a parâmetros climáticos momentâneos, direções de vento e regras de controle, o que dificultaria a interpretação isolada do impacto geométrico e térmico do entorno urbano. Em segundo lugar, a ausência de ventilação natural assegura maior consistência entre os diferentes cenários simulados.

Tabela 1: Propriedades físicas e térmicas dos materiais utilizados na simulação termoenergética.

MATERIAL	ESPESSURA [M]	CONDUTIVIDADE TÉRMICA [W/M·K]	DENSIDADE [KG/M³]	CALOR ESPECÍFICO [J/KG·M]	ABSORÇÃO TÉRMICA
ARGAMASSA EXTERNA	0,025	1,15	2000	1000	0,9
ARGAMASSA INTERNA	0,025	1,15	2000	1000	0,9
CERÂMICA TIJOLO	0,0165	0,9	1600	920	0,9
CONCRETO BLOCO	0,04	1,75	2400	1000	0,9
CONCRETO LAJE MACIÇA	0,05	1,15	2200	1000	0,9
FORRO PVC	0,01	0,071	273	960	0,9
FORRO GESSO	0,01	0,35	900	870	0,9
PISO CERÂMICO	0,0075	1,05	2000	920	0,9
GRANITO	0,025	3	2600	800	0,9

Fonte: Autora (2025).

Para manter a consistência entre todas as simulações, foram preservados os mesmos perfis de uso e ocupação (*Schedule:Compact*, *Schedule:TypeLimits* e *Schedule:Constant*). Isso garante que as diferenças observadas nos resultados sejam atribuídas exclusivamente à inclusão dos elementos sombreadores, das zonas térmicas vizinhas e ao cálculo dos fatores de forma, e não a variações nos padrões de uso ou nas condições internas do edifício.

2.3. Modelagem do entorno no *Software EnergyPlus*

O EnergyPlus considera, por padrão, a incidência de radiação solar direta e difusa (onda curta) e a radiação térmica de onda longa emitida entre as superfícies externas da edificação e o céu. Entretanto, o programa não calcula, de forma nativa, as trocas radiativas de onda longa entre superfícies externas vizinhas — como edificações adjacentes —, o que limita a representação realista de contextos urbanos densos. Para contornar essa limitação, foi adotada uma abordagem baseada em Pereira et al. (2021), que representam diferentes níveis de interação entre a edificação principal e o entorno urbano.

Modelo A: Representa o cenário de referência, no qual a edificação é simulada de forma independente, sem vizinhança nem sombreamento. Nesse caso, o EnergyPlus considera o

edifício totalmente exposto à radiação solar e ao céu, o que tende a superestimar os ganhos térmicos e a carga de resfriamento.

Modelo B: Inclui edificações adjacentes modeladas apenas como elementos de sombreamento tridimensionais (*Shading:Building:Detailed*), com refletância 0,2 definida via *Shading:Property:Reflectance*. O cálculo dinâmico de sombras foi ativado (*ShadowCalculation*), possibilitando a análise dos efeitos sazonais de sombreamento e da redução dos ganhos solares diretos sobre as superfícies externas.

Modelo C: Integra zonas térmicas nas edificações vizinhas, permitindo o cálculo das temperaturas superficiais médias (*Output:Surface Face Temperature*). Esses valores foram importados para o modelo final por meio do objeto *Schedule:File*, de modo a representar temporalmente as trocas de calor entre superfícies. Além disso, foram incorporados os fatores de forma (*view factors*) calculados a partir das coordenadas geométricas das superfícies, inseridos na tabela *View3D* e aplicados ao IDF via *SurfaceProperty:SurroundingSurfaces*. O objeto *SurfaceProperty:LocalEnvironment* vinculou cada parede externa às superfícies de entorno, garantindo o cálculo conjunto dos efeitos de sombreamento, obstrução visual e radiação de onda longa.

Tabela 2: Resumo das Entradas de Condições Mesoclimáticas no EnergyPlus.

DADOS DE ENTRADA	MODELO A	MODELO B	MODELO C
TERRAIN	<i>City</i>	<i>City</i>	<i>City</i>
SOLAR DISTRIBUTION	<i>Full Interior and Exterior with Reflections</i>	<i>Full Interior and Exterior with Reflections</i>	<i>Full Interior and Exterior with Reflections</i>
SURFACE PROPERTY: SUR- ROUNDS SURFACES	-	-	<i>View 3D (resultados)</i>

Fonte: Autora (2025).

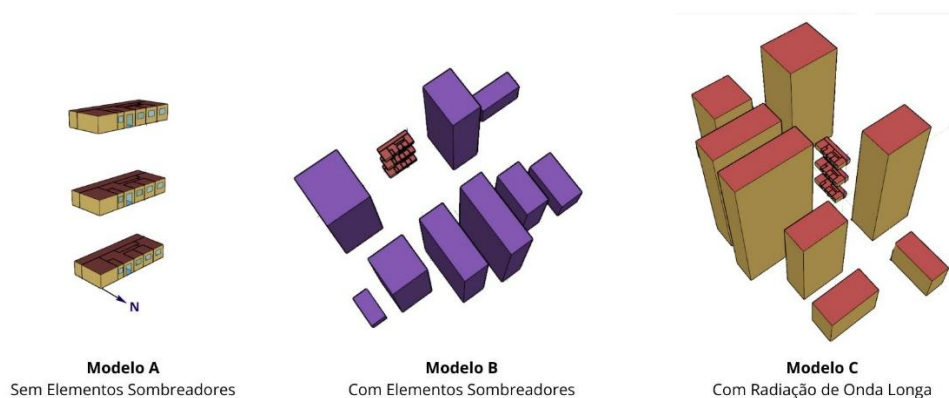


Figura 4: Representação dos Modelos. Fonte: Autora (2025).

2.4. Arquivo Climático Adotado

Para definição climática durante as simulações, foi adotado o arquivo climático EPW da estação Carlos Prates (BRA_MG_Belo.Horizonte-Prates.AP.836724_TMYx.2009-2023), por estar localizada em região central e densamente urbanizada, garantindo representatividade das condições climáticas locais.

2.5. Variáveis e Tratamento dos Dados de Saída

Para análise da sensibilidade do EnergyPlus à radiação de onda longa, as variáveis de saída solicitadas foram *Surface Outside Face Net Surface Thermal Radiation Heat Gain Rate per Area* [W/m^2], que expressa a radiação líquida de onda longa nas superfícies externas, permitindo identificar o ganho ou perda de calor por trocas radiativas com o entorno e *Zone Operative Temperature* [$^{\circ}\text{C}$], que representa a temperatura operativa interna de cada zona térmica, utilizada para estimar o conforto térmico conforme o modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2017), com frequência horária.

Para a análise da radiação de onda longa foram adotados dois dias representativos: 22 de dezembro (solstício verão) e 21 de junho (solstício inverno), possibilitando compreender as condições críticas de ganhos e perdas térmicas, respectivamente, e evidenciaram o papel do entorno urbano nas trocas radiativas externas.

Para o conforto térmico, as temperaturas operativas horárias foram comparadas aos limites adaptativos da ASHRAE 55 ($T_n \pm 3,5^{\circ}\text{C}$). Cada hora foi classificada como “em conforto” ou “fora do conforto”, permitindo calcular o percentual anual de horas em conforto térmico em cada cenário.

As simulações foram conduzidas com base em dados climáticos horários, contemplando a totalidade das 8.760 horas do ano típico meteorológico adotado. Não foram aplicadas restrições a intervalos específicos de processamento ou análise. Ainda que dois dias representativos tenham sido destacados para a investigação das trocas radiativas, os dados foram organizados em séries horárias completas de 24 horas consecutivas, assegurando a interpretação do comportamento térmico ao longo do ciclo diário integral. Dessa forma, a metodologia fundamenta-se em simulação dinâmica contínua, garantindo consistência temporal e robustez analítica na comparação entre os cenários modelados.

3. Resultados

3.1. Interações Radiativas e Influência do Entorno

Os resultados das interações radiativas mostram que a presença de elementos urbanos adjacentes limita a dissipação de calor noturno e matinal, e potencializa o acúmulo térmico durante o dia. Essa condição representa um comportamento típico das Ilhas de Calor Urbanas (ICU), nas quais o balanço térmico é alterado pela presença de superfícies construídas que absorvem, armazenam e reemitem calor em escalas temporais distintas (OKE, 1982).

A Figura 5 apresenta os resultados de radiação líquida de onda longa (*Surface Outside Face Net Surface Thermal Radiation Heat Gain Rate per Area* [W/m^2]) para a superfície P01Z01PAVTO01, selecionada por sua posição no primeiro pavimento e maior exposição ao entorno imediato, o que a torna representativa das trocas radiativas entre as edificações, enquanto a Tabela 3 resume os valores mínimos, médios e máximos obtidos para todas as superfícies analisadas nos três modelos (A, B e C). Observa-se que, no Modelo C, a proximidade de volumes construídos reduz significativamente as perdas de calor por radiação, evidenciando a contribuição das superfícies vizinhas na reemissão de energia térmica ao longo do ciclo diário.

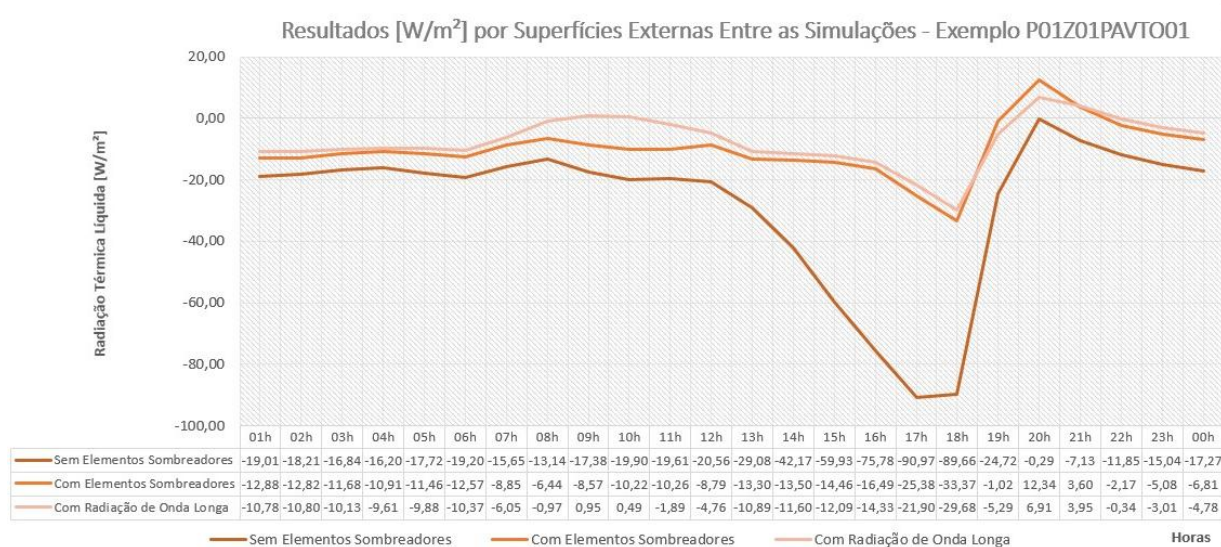


Figura 5: Resultados [W/m^2] por superfícies externas entre as simulações – P01Z01PAVTO01.
Fonte: Autora (2025).

Tabela 3: Resultados [W/m^2] por superfícies externas, comparação entre todas as simulações.

Zona térmica	Simulação Sem Elementos Sombreadores			Simulação Com Elementos Sombreadores			Simulação Com Radiação de Onda Longa no Entorno		
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.
P01Z01PAVTO01	-125,60	-29,91	29,24	-36,30	-09,84	42,49	-31,78	-07,46	21,26
P02Z01PAVTO01	-113,11	-30,97	30,09	-52,70	-10,06	45,78	-52,46	-09,84	35,54
P01Z01PAVTO06	-121,16	-30,05	29,57	-37,57	-11,55	42,55	-33,50	-08,69	21,49
P02Z01PAVTO06	-107,28	-30,45	30,42	-58,40	-12,10	44,70	-56,20	-11,65	35,67
P01Z01PAVTO11	-126,44	-29,61	29,85	-43,12	-12,78	42,41	-38,78	-09,58	21,60
P02Z01PAVTO11	-106,86	-29,85	30,70	-82,67	-14,78	43,49	-83,45	-13,95	33,92
P02Z02PAVTO01	-115,92	-32,26	30,09	-56,00	-08,66	45,18	-55,41	-08,34	35,98
P02Z02PAVTO06	-111,44	-31,96	30,41	-59,61	-12,15	43,98	-58,87	-11,46	34,23
P02Z02PAVTO11	-107,07	-30,91	30,73	-82,56	-16,13	42,41	-82,70	-15,39	33,91
P02Z03PAVTO01	-116,64	-32,65	30,09	-61,28	-11,48	44,80	-60,79	-11,07	34,77
P02Z03PAVTO06	-112,20	-32,41	30,40	-62,82	-14,23	43,52	-61,87	-13,55	34,72
P02Z03PAVTO11	-109,78	-31,11	30,69	-85,88	-17,41	41,86	-85,73	-16,27	32,65
P07Z04PAVTO01	-116,17	-32,39	30,09	-60,92	-12,19	43,94	-60,16	-11,71	34,99
P07Z04PAVTO06	-111,52	-32,29	30,40	-64,07	-14,62	43,16	-63,43	-13,81	33,58
P07Z04PAVTO11	-109,40	-31,05	30,68	-86,31	-17,76	41,55	-85,58	-16,69	33,22
P02Z05PAVTO01	-119,20	-34,02	30,07	-59,50	-11,97	44,65	-58,99	-11,54	34,66
P02Z05PAVTO06	-116,08	-33,62	30,38	-62,05	-13,79	44,31	-61,38	-13,23	35,36
P02Z05PAVTO11	-111,73	-32,00	30,68	-86,69	-17,79	42,55	-86,64	-16,77	33,19

Fonte: Autora (2025).

De modo geral, os fluxos médios de radiação de onda longa apresentaram reduções entre 35 % e 45 % nas perdas térmicas noturnas ao comparar o modelo A (isolado) com o modelo C, confirmando que o entorno atua como um envelope térmico secundário, retardando o resfriamento das superfícies externas.

3.2. Padrões Sazonais: Verão e Inverno

A comparação entre dias típicos de verão (22 de dezembro) e de inverno (21 de junho) revelou o papel determinante das condições sazonais na modulação das trocas térmicas. No verão, as simulações sem elementos sombreadores evidenciaram perdas radiativas intensas nas superfícies externas durante o período da tarde, atingindo picos de $-90,97 \text{ W/m}^2$ às 17h. A inclusão de sombreamento reduziu esses picos para cerca de -37 W/m^2 , demonstrando a eficácia dos elementos construtivos e do entorno urbano na mitigação da carga térmica incidente por radiação. Quando a radiação de onda longa do entorno foi incorporada, observou-se um comportamento mais homogêneo entre as zonas térmicas, com menores variações verticais entre os pavimentos. As zonas térmicas mais próximas ao solo apresentaram maiores índices de acúmulo térmico, devido à baixa razão de visão do céu e à maior interferência radiativa das edificações adjacentes. Esse fenômeno, ao mesmo tempo que atenua perdas noturnas, contribui para a intensificação da Ilha de Calor Urbana (ICU) e para a elevação das temperaturas médias locais.

A análise detalhada dos horários das 07h e 19h reforça essas observações. Às 07h, as superfícies ainda se encontram sob influência do resfriamento noturno, com valores negativos de radiação líquida. Já às 19h, a liberação de calor acumulado durante o dia ocorre de forma mais lenta nas superfícies sombreadas e nas zonas inferiores, devido à reemissão de radiação de onda longa pelas edificações próximas (Figura 6). Esse efeito evidencia o papel do entorno urbano como um “reservatório térmico” que retarda o resfriamento noturno e contribui para o aumento da temperatura média da envoltória.

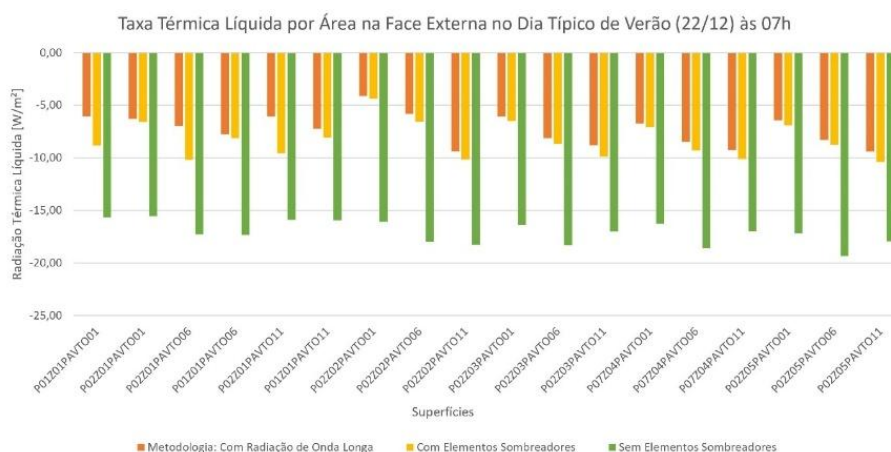
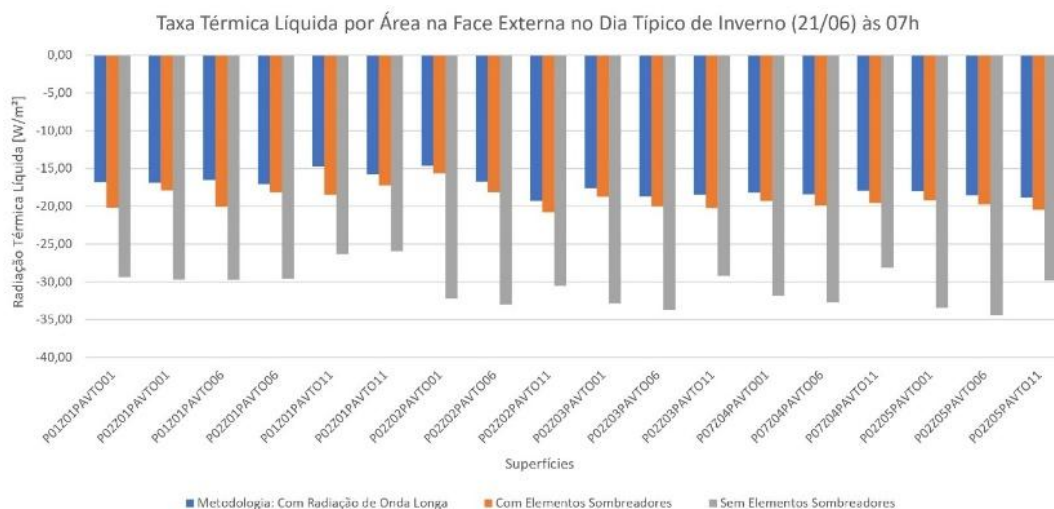




Figura 6: Radiação térmica líquida [W/m²] no dia típico de verão (22/12) às 07h e 19h.
Fonte: Autora (2025).

Durante o inverno, nas simulações sem sombreamento, as superfícies externas registraram fluxos mínimos de até $-104,33 \text{ W/m}^2$ ao meio-dia. Com a inclusão dos elementos de entorno, esses valores foram significativamente reduzidos, principalmente nas zonas térmicas inferiores. A presença de edificações vizinhas com zonas térmicas promoveu trocas radiativas compensatórias, mantendo as superfícies mais aquecidas nas primeiras horas da manhã e nas últimas da tarde.

Nessas condições, às 07h, o sombreamento e a baixa altura solar limitam a radiação incidente, fazendo com que as superfícies dependam majoritariamente das trocas de onda longa para aquecimento. Já às 19h, a liberação de calor acumulado é menos pronunciada em função da menor insolação diurna, resultando em taxas líquidas negativas mais intensas (Figura 7). Em ambos os casos, a morfologia urbana exerce papel fundamental na modulação do balanço térmico superficial, podendo atuar de forma benéfica para o conforto térmico no inverno, mas potencialmente desfavorável em períodos quentes, conforme a densidade e configuração do tecido urbano.



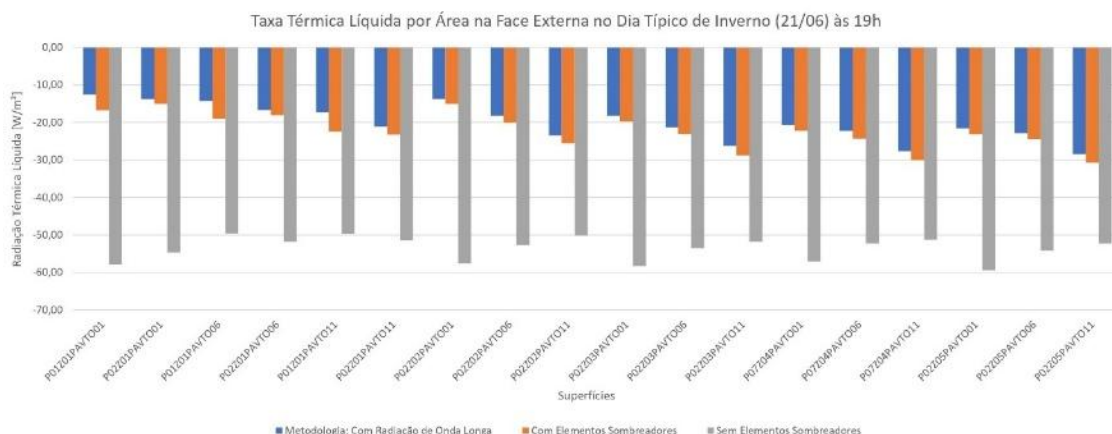


Figura 7: Radiação térmica líquida [W/m²] no dia típico de inverno (21/06) às 07h e 19h.
Fonte: Autora (2025).

3.3. Conforto Térmico Interno: Zone Operative Temperature

Na ausência de elementos de sombreamento, o percentual de horas em conforto variou entre 28% e 84%, indicando forte desconforto nas zonas mais expostas à radiação solar direta. Com a inclusão de sombreamento, os índices de conforto aumentaram expressivamente, atingindo até 100% das horas anuais em determinadas zonas térmicas, como Z04PAVTO01. A simulação com radiação de onda longa manteve resultados semelhantes, com variações marginais inferiores a 2%, o que reforça a consistência da metodologia e sua aplicabilidade em contextos urbanos densos (Figura 8).

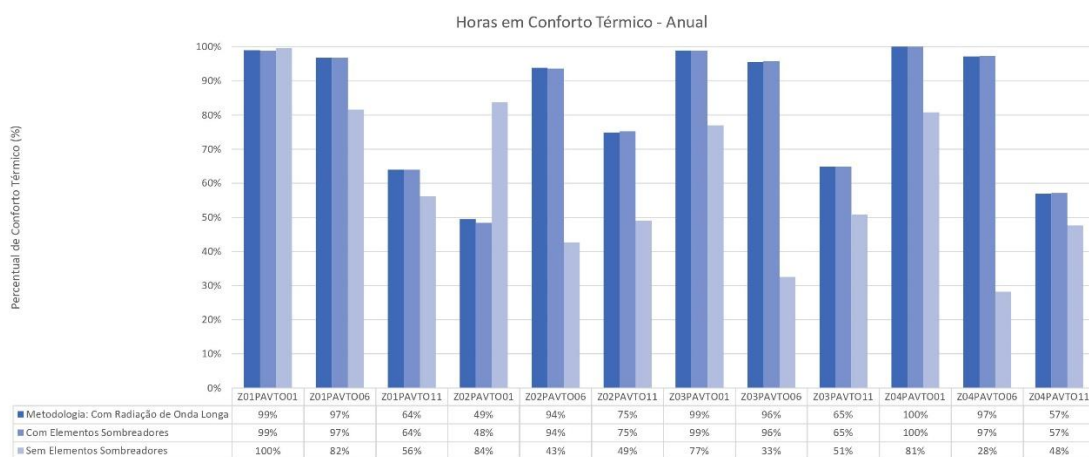


Figura 8: Percentual de horas em conforto térmico [C°] anual. Fonte: Autora (2025).

4. Conclusão

Por meio da inserção simultânea de elementos tridimensionais de sombreamento dotados de temperatura superficial realista; cálculo de fator de forma e objetos específicos como *SurfaceProperty:SurroundingSurfaces* e *LocalEnvironment*, o EnergyPlus revelou sua

capacidade de representar de forma mais precisa as trocas térmicas complexas entre superfícies urbanas — especialmente a emissão, absorção e reflexão da radiação infravermelha de onda longa. Isso foi possível utilizando apenas o SketchUp e o OpenStudio como suporte à modelagem geométrica. Trata-se de uma inovação metodológica que, além de otimizar tempo e recursos, democratiza o acesso a simulações mais realistas em contextos urbanos densos.

Esses resultados respondem de forma inequívoca que as edificações vizinhas exercem influência substancial sobre as trocas térmicas; evidencia a importância de modelar com precisão as condições locais para obter previsões energéticas confiáveis, pois a omissão de zonas térmicas vizinhas ou de cálculos radiativos subestimava ou superestimava trocas de calor; e, por fim, demonstrou-se que o EnergyPlus, quando utilizado com a extensão OpenStudio/SketchUp para integrar malhas urbanas e fatores de forma (*View 3D*), permite abordar contextos urbanos densos de maneira mais robusta, oferecendo subsídios mais sólidos para o planejamento energético de edificações.

Uma das limitações constadas na metodologia adotada é a incapacidade de representação de vegetação no entorno urbano. Ainda que a presente pesquisa apresente limitações metodológicas, o estudo representa um avanço metodológico relevante ao explorar, com recursos acessíveis, a modelagem urbana no EnergyPlus sem necessidade de *softwares* externos. Diferentemente de Pereira et al. (2021), que aplicaram sua abordagem em ambientes comerciais, este estudo validou a metodologia em unidades residenciais multifamiliares, demonstrando sua adaptabilidade para habitações verticais e sua relevância no campo da arquitetura residencial.

A importância deste resultado não se restringe ao campo acadêmico, as evidências aqui apresentadas oferecem subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação das ilhas de calor urbanas, ao uso racional da energia e ao enfrentamento das mudanças climáticas, especialmente em cidades brasileiras que seguem trajetória de verticalização acelerada.

Referências

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **Buildings: Tracking Clean Energy Progress**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/buildings>>. Acesso em: 23 maio 2025.

ALLEGRI, J.; DORER, V.; CARMELIET, J. *Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings*. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 823–832, dez. 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial**. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br>. Acesso em: 23 maio 2025.

BOUYER, J.; INARD, C.; MUSY, M. *Microclimatic coupling as a solution to improve building energy simulation in an urban context*. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1549–1559, jul. 2011.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

ROKE, T. R. *The energetic basis of the urban heat island*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, n. 455, p. 1–24, 1982.

ONU-HABITAT. **É o momento das cidades: não há saída sem investimento em desenvolvimento sustentável urbano**. 2023. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/252625>>. Acesso em: 23 maio 2025 e ONU-HABITAT. **Relatório Mundial das Cidades 2024**. Disponível em: <<https://referencia.com/mundo/cidades-devem-se-preparar-para-mudanca-climatica-e-rapida-urbanizacao-alerta-onu/>>. Acesso em: 23 maio 2025.

PEREIRA, N.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. Avaliação Da Influência Da Refletância Do Entorno Urbano No Fluxo De Radiação E Na Carga Térmica De Uma Edificação. **Encontro Nacional De Conforto No Ambiente Construído**, v. 16, p. 1273-1282, 2021.

SHARIF, M. M. **Discurso da diretora-executiva do ONU-Habitat sobre urbanização e clima**. ONU-Habitat, 2023.

TELLES, C. P de. **Proposta de simplificação do RTQ-R**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.