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.v21i1.8929

Isolamento térmico resistivo em habitação unifamiliar: análise de desempenho em clima Cfb

Resistive thermal insulation in single-family dwellings: thermal performance analysis in a Cfb climate

Kimberly Gabriela Angelo Dias
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | kimberly.ufpr@gmail.com
Leandro Carlos Fernandes
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | leandrofernandes@ufpr.br
Márcio José Sorgato
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | sorgato@professores.utfpr.edu.br
Giovanna Schiwinski Verussa
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | giovanna.verussa@ufpr.br
Cleyton Cristiano Crovador
Universidade Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | cleytoncrovador@ufpr.br

Resumo

Esta pesquisa analisa o impacto do isolamento térmico resistivo no desempenho térmico de uma habitação unifamiliar em Curitiba (Cfb) por meio de simulações no *EnergyPlus*. Foram comparados dois modelos – com e sem isolamento nas paredes externas – em uma edificação com laje elevada sobre câmara de ar não ventilada (configuração análoga a porão), com paredes externas diferindo apenas quanto ao nível de isolamento térmico resistivo. Com base no modelo adaptativo da ASHRAE 55, o desempenho foi avaliado pela temperatura operativa, amplitudes térmicas, fator decremental e percentual de horas em conforto. Os resultados mostram que o isolamento tem efeito limitado na redução das amplitudes térmicas, mas aumenta significativamente o número das horas em conforto, principalmente pela diminuição do desconforto por frio.

Palavras-chave: Isolamento térmico. Desempenho térmico. Conforto térmico. Amplitude térmica diária. Simulação computacional.

Abstract

This study analyzes the impact of resistive thermal insulation on the thermal performance of a single-family dwelling in Curitiba (Cfb climate) using EnergyPlus simulations. Two models were compared–one with and one without insulation in the external walls–both elevated over an unventilated air cavity. Based on the ASHRAE 55 adaptive model, performance was evaluated through operative temperature, daily thermal amplitude, decrement factor, and percentage of hours within thermal comfort. The results show that insulation has a limited effect on reducing thermal amplitudes but significantly increases the percentage of comfort hours, mainly by reducing cold discomfort.

Keywords: Thermal insulation. Thermal performance. Thermal comfort. Daily thermal amplitude. Computational simulation.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com o consumo energético das edificações tem se intensificado, especialmente no setor residencial, que representa parcela significativa da demanda energética nacional (BRASIL, 2023). No Brasil, grande parte das habitações unifamiliares opera sem condicionamento térmico artificial, dependendo de estratégias passivas de desempenho térmico – contexto em que a envoltória assume papel determinante, ao influenciar diretamente as trocas de calor entre interior e exterior.

Decisões de projeto como orientação, tipo e dimensão das aberturas, sistemas construtivos e dispositivos de sombreamento são amplamente reconhecidas como variáveis que impactam o desempenho térmico (KEELER; BURKE, 2010; WILDE; VOORDEN, 2004). No entanto, o isolamento térmico resistivo ainda não é usual nas edificações residenciais brasileiras, sobretudo em habitações de interesse social. Embora diretrizes bioclimáticas orientem sua aplicação (FROTA; SCHIFFER, 2003; GIVONI, 1998), a literatura nacional carece de análises quantitativas que isolem seu efeito de outros fatores construtivos – lacuna especialmente evidente em configurações com piso elevado. A NBR 15575 (ABNT, 2021) estabelece critérios de desempenho térmico para edificações habitacionais, e a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) define zonas bioclimáticas e diretrizes para habitações de interesse social – ambas servem como referência normativa para este estudo.

Em climas como o de Curitiba (Cfb), com baixas temperaturas no inverno e amplitudes térmicas diárias significativas, a ausência de isolamento pode resultar em desconforto por frio e aumento da demanda por aquecimento (ANDOLSUN et al., 2011). Ao mesmo tempo, o isolamento influencia tanto a retenção quanto a dissipação de calor ao longo do dia, podendo também impactar o desempenho no verão – o que reforça a necessidade de análise integrada ao longo de um ano completo.

Este estudo se insere em uma pesquisa mais ampla, que investiga a influência do nível de contato entre a edificação e o solo sobre o desempenho térmico de edificações residenciais em diferentes contextos climáticos. Foram testadas diferentes condições de contato com o solo, incluindo laje diretamente apoiada, soluções isoladas e configurações elevadas. No presente recorte, optou-se por adotar uma configuração de laje elevada sobre câmara de ar não ventilada, análoga a um porão, permitindo reduzir as trocas térmicas com o solo. Essa abordagem permite isolar o efeito da envoltória opaca vertical, possibilitando uma análise mais direta do impacto do isolamento térmico resistivo no comportamento térmico da edificação.

Diante do exposto, adotando uma configuração construtiva elevada, que minimiza as as trocas térmicas com o solo e evidencia o efeito da envoltória, esta pesquisa teve como objetivo analisar o impacto do isolamento térmico resistivo das paredes externas no desempenho térmico de uma habitação unifamiliar no clima de Curitiba.

MÉTODO

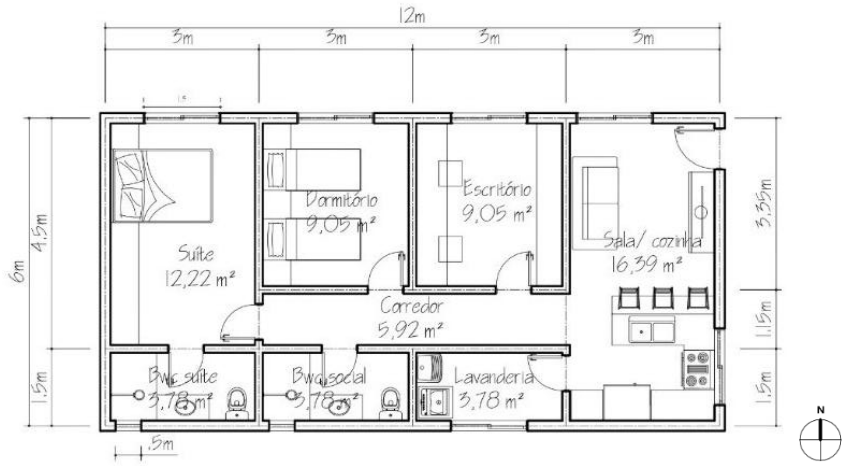
Esta pesquisa adota o método de simulação computacional, com abordagem quantitativa e caráter comparativo. Definiu-se um modelo em alvenaria com isolamento resistivo (EPS) e um modelo de referência, em alvenaria convencional sem isolamento, para avaliar o impacto do isolamento térmico resistivo no desempenho térmico de uma edificação residencial unifamiliar naturalmente ventilada.

MODELO DA EDIFICAÇÃO

O modelo de estudo consiste em uma habitação unifamiliar térrea hipotética, representativa de construções residenciais de pequeno porte (Figuras 1 e 2). O modelo possui área total de 68,4 m² e foi simplificado para uma única zona térmica, de modo a permitir a análise integrada do comportamento térmico do ambiente interno.

Os elementos internos, como divisórias, foram representados com o uso do recurso massa térmica equivalente, garantindo a consideração da inércia térmica da edificação sem a necessidade de detalhamento completo dos ambientes internos.

Figura 1: Planta baixa do objeto de estudo



Fonte: os autores.

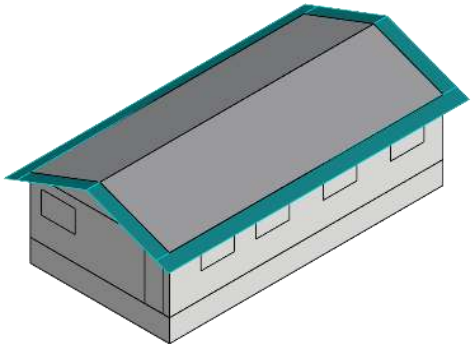
CONFIGURAÇÕES ANALISADAS

Foram avaliadas duas configurações construtivas (Quadro 1), mantendo-se constantes todas as demais variáveis do modelo:

a. Configuração 1 (com isolamento): edificação com laje elevada do solo sobre câmara de ar não ventilada (porão) e paredes externas com isolamento térmico resistivo;

b. Configuração 2 (sem isolamento): mesma configuração geométrica e de contato com o solo, porém com paredes externas em alvenaria convencional, sem isolamento térmico.

Figura 2: Forma geométrica considerada na simulação computacional



Fonte: os autores.

Quadro 1: Componentes construtivos

Configuração	**Composições**		
	Parede externa	Parede interna	Piso
Configuração 1	Alvenaria com isolamento: argamassa externa de 25 mm, bloco cerâmico 9 × 19 × 19 cm, isolamento térmico em EPS de 80 mm e acabamento interno em gesso acartonado de 20 mm.	Alvenaria simples: argamassa externa de 25 mm, bloco cerâmico 8 furos (9 × 19 × 19 cm) e argamassa interna de 25 mm.	Laje pré-moldada comum: piso elevado composto por sistema de laje pré-moldada com lajotas cerâmicas 24 × 7 × 20 cm.
Configuração 2	Alvenaria simples: argamassa externa de 25 mm, bloco cerâmico 8 furos (9 × 19 × 19 cm) e argamassa interna de 25 mm.	Alvenaria simples: argamassa externa de 25 mm, bloco cerâmico 8 furos (9 × 19 × 19 cm) e argamassa interna de 25 mm.	Laje pré-moldada comum: piso elevado composto por sistema de laje pré-moldada com lajotas cerâmicas 24 × 7 × 20 cm.

Fonte: os autores.

As propriedades térmicas dos materiais foram definidas com base em valores típicos da literatura (Tabela 1) (ABNT,2005).

Tabela 1: Propriedades térmicas

Material	Espessura (mm)	Propriedades térmicas		
		k (W/m.K)	ρ (kg/m³)	Cp (J/kg.k)
Argamassa	25	1,15	2000	1000
Bloco cerâmico	13	0,9	1600	920
Isolamento EPS	80	0,04	3	1400
Gesso acartonado	20	0,35	900	870
Lajota cerâmica	12	1,05	2000	920

Fonte: os autores.

DADOS CLIMÁTICOS

As simulações foram realizadas considerando o clima da cidade de Curitiba (PR), classificado como Cfb segundo Köppen, caracterizado por verões amenos, invernos frios e amplitudes térmicas diárias significativas. Foram utilizados arquivos climáticos no formato EPW (*EnergyPlus Weather File*), garantindo a representatividade das condições climáticas locais ao longo de um ano completo. O arquivo utilizado foi *BRA_PR_Curitiba.838420_INMET*, referente à estação meteorológica de Curitiba.

CONDIÇÕES OPERACIONAIS

A edificação foi considerada como naturalmente ventilada, sendo a ventilação representada exclusivamente por meio de uma taxa constante de infiltração de ar de 0,5 ren/h. A abertura de janelas pelos usuários não foi modelada de forma dinâmica, uma vez que o objetivo do estudo é isolar o efeito da envoltória opaca sobre o desempenho térmico, eliminando variáveis comportamentais que comprometeriam a comparabilidade entre os modelos.

Os padrões de ocupação e cargas internas foram definidos com base em referências normativas brasileiras para edificações residenciais (ABNT, 2021). Foram considerados quatro ocupantes, com variação dos ganhos internos ao longo do dia, representando períodos típicos de uso dos ambientes.

A densidade de potência de iluminação e equipamentos foi adotada como constante durante os períodos de ocupação, contribuindo para a carga térmica interna da edificação.

O modelo foi orientado com a fachada principal voltada para o leste e quartos orientados para norte. As aberturas foram compostas por vidro simples comum (6 mm), com fator solar (FS) de 0,87 e transmitância térmica de 5,7 W/m²K, sem dispositivos de sombreamento externo, de forma a representar uma solução construtiva típica do mercado popular. Essa configuração foi mantida idêntica em ambos os modelos comparados, garantindo que a única variável entre eles fosse a presença do isolamento térmico resistivo nas paredes externas.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

As simulações foram realizadas no *software EnergyPlus* versão 24.2. O modelo considerou as trocas térmicas entre a edificação e o ambiente externo, incluindo condução através da envoltória, ganhos solares e cargas internas.

A interação térmica com o solo foi minimizada por meio da adoção de uma configuração de laje elevada sobre câmara de ar não ventilada, reduzindo a influência das trocas térmicas com o solo. Essa estratégia permitiu avaliar de forma mais isolada o impacto das propriedades da envoltória opaca, em especial da presença de isolamento térmico resistivo.

A câmara de ar não ventilada (porão) foi modelada como zona térmica buffer, com acoplamento ao solo por meio do objeto *GroundCoupledSurface*. A laje de separação entre o porão e o ambiente interno apresenta resistência térmica igual a 0,136 m²K/W e resistência total de 0,346 m²K/W incluindo resistências superficiais (Rsi = 0,17 m²K/W; Rse = 0,04 m²K/W), resultando em transmitância igual a 2,89 W/m²K. O espaço de ar interno às lajotas cerâmicas pré-moldadas (espessura 46 mm, k = 0,565 W/m·K) apresenta resistência térmica igual a 0,081 m²K/W.

INDICADORES DE DESEMPENHO

A avaliação do desempenho térmico da edificação foi realizada a partir de um conjunto de indicadores capazes de representar tanto o comportamento dinâmico das temperaturas quanto as condições de conforto térmico ao longo do período analisado. Foram considerados os seguintes parâmetros:

- Temperatura operativa interna.
- Amplitude térmica diária interna (Atd).
- Fator decremental (Fd).
- Percentual de horas em conforto térmico.

O conforto térmico foi avaliado com base no modelo adaptativo estabelecido pela ANSI/ASHRAE Standard 55, considerando a faixa de aceitabilidade de 90% (ASHRAE, 2020). A partir desse critério, as temperaturas internas foram classificadas em três categorias: dentro da faixa de conforto, na faixa de desconforto por frio e na faixa de desconforto por calor.

A temperatura operativa neutra foi determinada conforme a Equação 1.

Equação 1. Temperatura operativa neutra para ambientes internos condicionados naturalmente.

$$Top_{neutra} = 0{,}31 \times Tex_{méd} + 17{,}8$$

Fonte: ASHRAE (2020).

Na qual:
Top_{neutra} é a temperatura operativa neutra do ambiente interno (°C).
$Tex_{méd}$ corresponde à média móvel da temperatura externa dos últimos 30 dias.

A amplitude térmica diária interna foi analisada como indicador da estabilidade térmica do ambiente, adotando-se como referência o limite de 5 °C, correspondente à faixa de aceitabilidade de 90% definida pelo modelo adaptativo.

O fator decremental foi utilizado para avaliar a capacidade da edificação de atenuar as variações térmicas externas, sendo calculado conforme a Equação 2.

Equação 2. Fator decremental.

$$F_d = \frac{Atd_{in\ méd}}{Atd_{ex\ méd}}$$

Na qual:

F_d é o fator decremental (adimensional).

$Atd_{in\ méd}$ é a amplitude térmica diária no ambiente interno (°C).

$Atd_{ex\ méd}$ é a amplitude térmica diária no ambiente externo (°C).

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8929

RESULTADOS

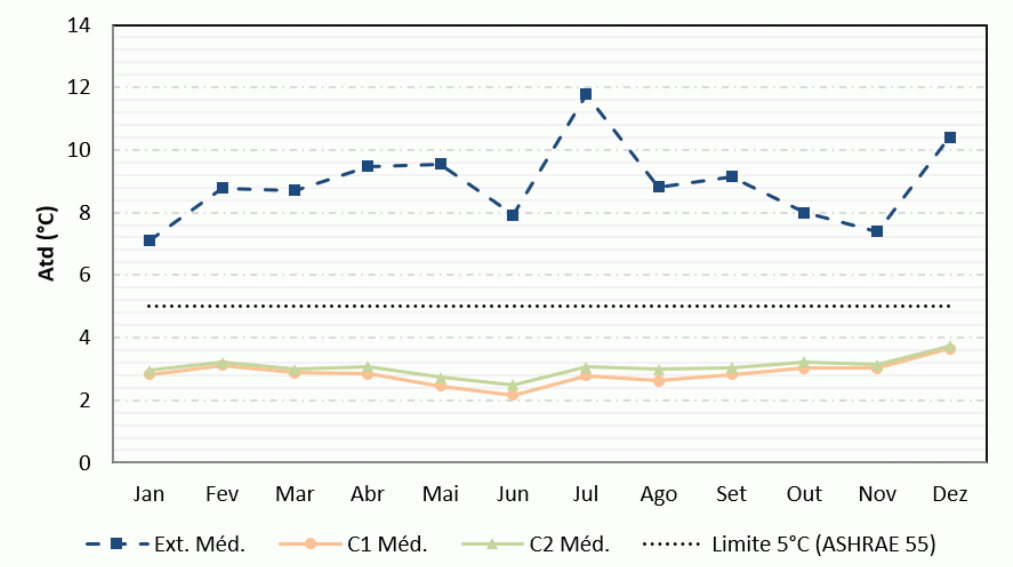
IMPACTO SOBRE AS AMPLITUDES TÉRMICAS

Para atender ao objetivo da pesquisa, iniciou-se a análise investigando o impacto do isolamento térmico resistivo sobre as amplitudes térmicas diárias (Atd). A Atd externa média anual foi de 8,93°C, com variação entre 7,1°C (janeiro) e 11,8°C (julho). As Atd internas médias anuais foram de 2,85°C para C1 (isolada) e 3,05°C para C2 (convencional). Em termos de fator decremental médio anual, C1 apresentou Fd = 0,341 e C2, Fd = 0,368, correspondendo a atenuações de 65,9% e 63,2% da variação externa, respectivamente – sendo C1 ligeiramente mais eficaz nesse aspecto.

A partir das simulações computacionais, verificou-se que ambas as configurações apresentaram amplitudes térmicas diárias internas muito abaixo do limiar de 5°C estabelecido pela ASHRAE 55 ao longo de praticamente todo o ano: C1 registrou 364 dos 365 dias (99,7%) dentro do intervalo, e C2, 356 dias (97,5%). O exterior, em contraste, atingiu esse limiar em apenas 50 dias (13,7%), evidenciando a expressiva capacidade de atenuação das variações térmicas promovida pela envoltória em ambas as configurações, independentemente da presença do isolamento resistivo.

Em relação às médias mensais (Figura 3), as amplitudes internas permanecem consistentemente abaixo do referencial de 5°C em todos os meses do ano, para ambos os modelos. As médias variam de 2,17°C a 3,65°C em C1 e de 2,49°C a 3,74°C em C2, com junho registrando os menores valores e dezembro os maiores em ambas as configurações. A diferença entre os modelos é inferior a 0,2°C na maioria dos meses, o que indica que o isolamento resistivo exerce influência limitada sobre a magnitude das amplitudes médias internas.

Figura 3: Amplitude térmica diária interna média mensal – C1 (isolada) e C2 (convencional) em comparação com o exterior (°C)

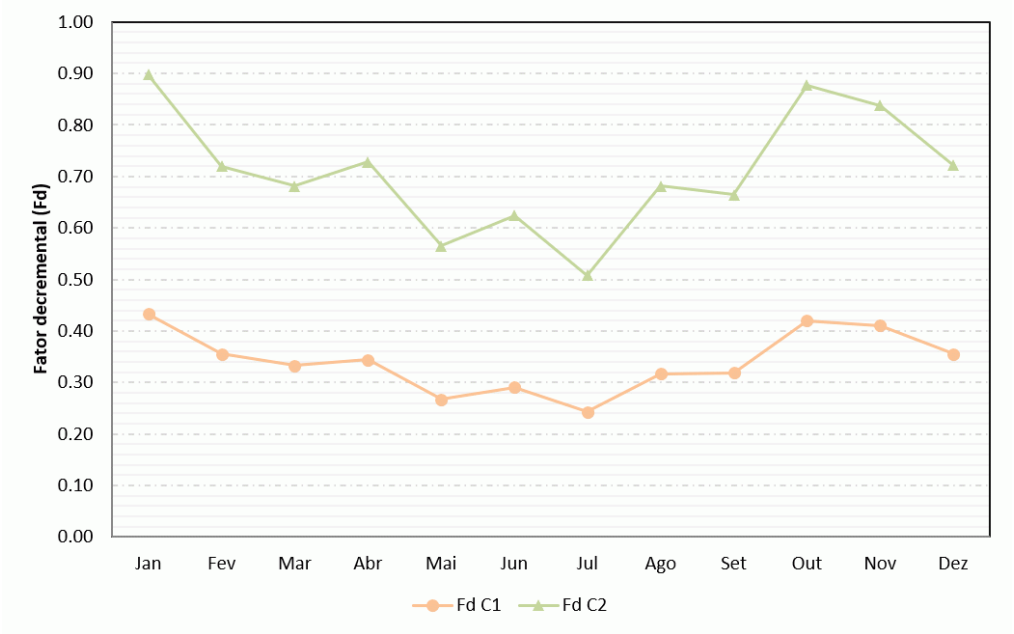


Fonte: os autores.

Em se tratando do fator decremental (Figura 4), o modelo isolado (C1) apresenta menor Fd em todos os meses, indicando maior capacidade de atenuação relativa das

oscilações térmicas externas. O Fd médio anual de C1 foi de 0,341, contra 0,368 de C2 – diferença absoluta de 0,027, numericamente pequena, porém consistente ao longo do ano. Julho apresentou os menores fatores decrementais em ambos os modelos (C1 = 0,243; C2 = 0,266), reflexo da maior amplitude externa nesse mês (11,8°C), enquanto janeiro registrou os maiores (C1 = 0,434; C2 = 0,465). Esse resultado sugere que a massa térmica da alvenaria convencional, sem o efeito barreira do isolamento, permite maior troca de calor com o exterior e, por isso, amorteça proporcionalmente uma parcela ligeiramente maior das oscilações externas em relação ao modelo isolado.

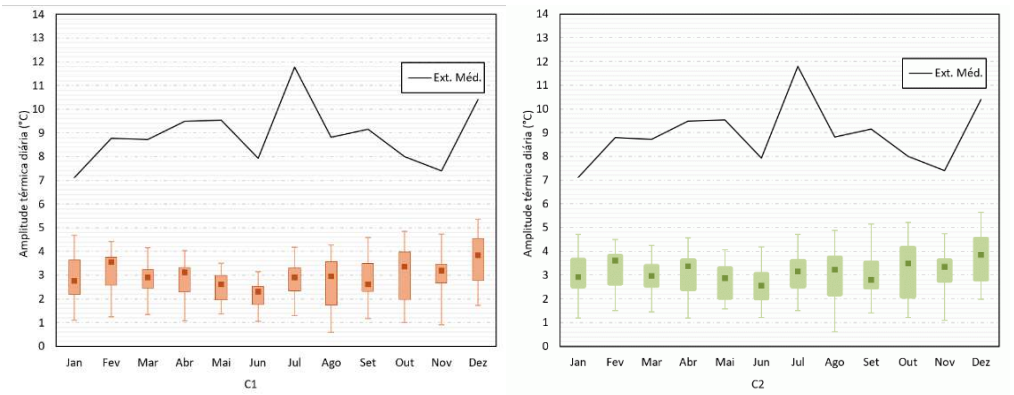
Figura 4: Fator decremental médio mensal – C1 (isolada) e C2 (convencional) (%)



Fonte: os autores.

A análise conjunta desses dois indicadores revela um comportamento complementar entre os modelos. O modelo isolado (C1) apresenta maior atenuação relativa das oscilações externas – expresso pelo menor Fd – e maior frequência de dias com amplitudes internas dentro do intervalo de referência. O modelo convencional (C2), por sua vez, exibe amplitudes internas absolutas ligeiramente maiores, ainda que ambos os modelos se mantenham consistentemente abaixo do limiar de 5°C.

Figura 5: Distribuição das amplitudes térmicas diárias internas por mês – C1 (isolada) e C2 (convencional)



Fonte: os autores.

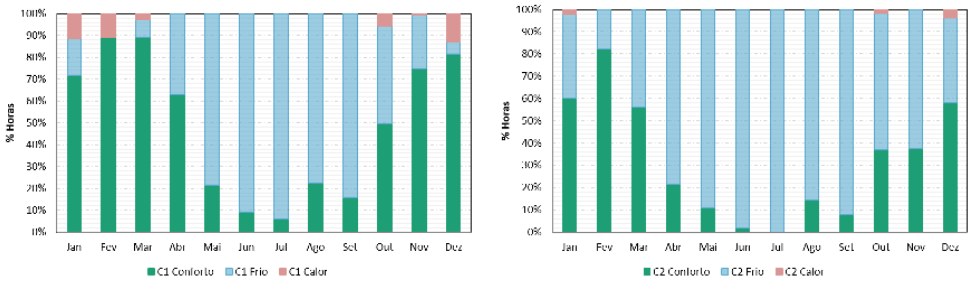
A distribuição estatística das amplitudes (Figura 5) reforça essa interpretação, evidenciando que ambas as configurações apresentam significativa redução da variabilidade térmica em relação ao ambiente externo, com valores concentrados em faixas inferiores ao longo de todo o ano.

De forma geral, os resultados indicam que, para a configuração analisada, o isolamento térmico exerce influência moderada sobre o amortecimento das amplitudes térmicas: reduz levemente os valores absolutos internos e melhora a atenuação relativa das oscilações externas em comparação à alvenaria convencional, embora a diferença entre os modelos seja pequena em ambos os indicadores.

Impacto sobre o número de horas no intervalo considerado adequado para ambientes internos

A análise do percentual de horas com temperaturas internas dentro do intervalo de conforto (Figura 6) evidencia diferenças mais expressivas entre os modelos do que as observadas nas amplitudes térmicas, indicando que o isolamento exerce papel mais relevante no desempenho térmico global pela via do controle das trocas de calor do que pelo amortecimento das variações.

Figura 6: Percentual de horas em conforto, desconforto por frio e desconforto por calor por mês – C1 (isolada) e C2 (convencional) (%)



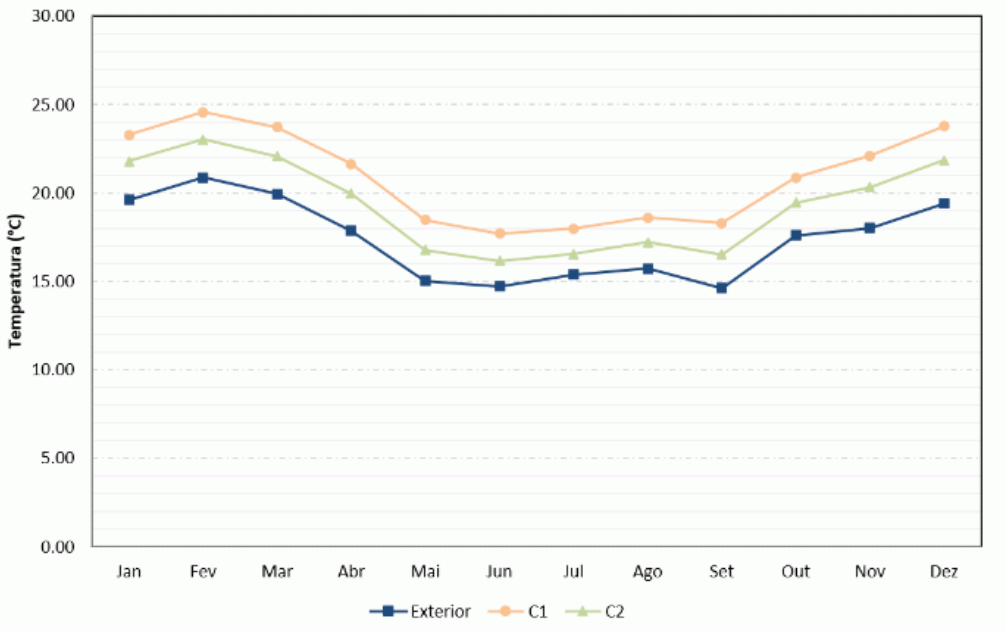
Fonte: os autores.

O modelo com isolamento (C1) apresentou 49,1% de horas em conforto ao longo do ano (4.305 h), contra 32,1% do modelo convencional (C2, 2.808 h) – ganho de 17 pontos percentuais. Essa diferença ocorre principalmente pela redução do desconforto por frio, que passou de 67,3% em C2 para 47,2% em C1. O desconforto por calor é marginalmente superior em C1 (3,6%) em relação a C2 (0,6%), reflexo da maior retenção de calor nas estações mais quentes. Os meses mais críticos foram junho e julho: C2 registrou 98,3% e 100% de horas em desconforto por frio, respectivamente, enquanto C1 apresentou 91,2% e 94,2% – ainda predominantemente desconfortável, mas com diferença relevante. Nos meses de verão, ambos os modelos apresentam desempenho mais favorável, com C1 atingindo até 89% de horas em conforto em fevereiro e março.

A análise das temperaturas operativas internas médias mensais (Figura 7) permite compreender esse comportamento. O modelo isolado (C1) apresenta temperaturas médias sistematicamente mais elevadas, caracterizando maior desacoplamento térmico em relação ao exterior. A temperatura operativa média anual de C1 foi de 20,9°C, contra 19,3°C de C2 e 17,4°C do exterior – diferença de 1,6°C entre os modelos.

Nos meses de inverno a diferença é mais pronunciada: em julho, C1 registrou 17,98°C e C2, 16,56°C (Δ = 1,4°C), com o exterior em 15,4°C. Em fevereiro, período de maior ganho solar, ambos os modelos apresentaram temperaturas internas mais elevadas (C1 = 24,6°C; C2 = 23,0°C). Esse comportamento indica que o isolamento atua principalmente impedindo as perdas térmicas nos períodos frios, elevando as temperaturas internas e ampliando o percentual de horas dentro do intervalo de conforto.

Figura 7: Médias mensais da temperatura externa do ar e das temperaturas operativas internas – C1 (isolada) e C2 (convencional) (°C)



Fonte: os autores.

Em contrapartida, o modelo convencional (C2), embora apresente Fd ligeiramente maior – indicando menor atenuação relativa das oscilações externas pelo isolamento –, mantém maior acoplamento às condições externas, o que resulta em maior ocorrência de temperaturas internas abaixo do intervalo de conforto. Esse comportamento evidencia que a inércia térmica da alvenaria, isoladamente, não é suficiente para garantir melhor desempenho em termos de conforto térmico no clima Cfb de Curitiba.

De forma integrada, os resultados indicam que o isolamento térmico resistivo exerce papel mais relevante na melhoria das condições de conforto do que na redução das amplitudes térmicas. O desempenho térmico da edificação está, portanto, mais associado ao controle das perdas de calor entre interior e exterior do que à capacidade de amortecimento das variações térmicas – aspecto em que ambos os modelos apresentam desempenho semelhante.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa analisou o impacto do isolamento térmico resistivo no desempenho térmico de uma habitação unifamiliar no clima de Curitiba (Cfb), adotando uma

configuração com piso elevado sobre câmara de ar não ventilada para minimizar a influência das trocas térmicas com o solo.

Os resultados indicaram que o isolamento exerce influência limitada na redução das amplitudes térmicas diárias – as Atd internas médias ficaram em 2,85°C (C1) e 3,05°C (C2), com fator decremental de 0,341 e 0,368, respectivamente. Ambas as configurações mantiveram Atd interna ≤ 5°C em mais de 97% dos dias ao longo do ano. Por outro lado, o impacto sobre o conforto térmico foi expressivo: C1 atingiu 49,1% de horas em conforto ao longo do ano, contra 32,1% de C2, diferença explicada principalmente pela redução do desconforto por frio (de 67,3% para 47,2%).

Do ponto de vista projetual, os resultados indicam que, para configurações elevadas em climas com predominância de desconforto por frio como o Cfb de Curitiba, o isolamento térmico resistivo representa estratégia relevante para a melhoria do conforto térmico, atuando principalmente pelo controle das perdas de calor na estação fria, e não pelo amortecimento das variações térmicas diárias.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não fizeram uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

[3] ANDOLSUN, S. et al. EnergyPlus vs DOE-2.1e: the effect of ground coupling on cooling/heating energy requirements of slab-on-grade code houses in four climates of the US. **Energy and Buildings**, v. 52, p. 189-206, 2012.

[4] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 140-2014**: standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta: ASHRAE, 2014.

[5] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55-2020**: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2020.

[6] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2023**. Brasília: MME, 2023.

[7] FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** São Paulo: Nobel, 2003.

[8] GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings,** v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.

[9] GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1998.

[10] KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis.** Porto Alegre: Bookman, 2010.

[11] WILDE, P. de; VOORDEN, M. van der. Providing computational support for the selection of energy saving building components. **Energy and Buildings,** v. 36, n. 8, p. 749-758, ago. 2004.