EQUILIBRANDO CUSTO, DESEMPENHO TÉRMICO E IMPACTO AMBIENTAL: UM ESTUDO SOBRE MATERIAIS PARA NÚCLEOS DE ALVENARIA NO BRASIL

Balancing cost, thermal performance, and environmental impact: a study on materials for masonry systems in Brazil

Vítor Freitas Mendes
Instituto Federal de Minas Gerais | Santa Luzia, Minas Gerais | vitor.mendes@aluno.ufop.edu.br

Poliana Evangelista Arcanjo
Instituto Federal de Minas Gerais | Santa Luzia, Minas Gerais | polyarcanjo19@gmail.com

Marcos Paulo Costa Tavares
Instituto Federal de Minas Gerais | Santa Luzia, Minas Gerais | marcos0268@gmail.com

Júlia Castro Mendes
Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora, MG | juliacastro.mendes@ufjf.br

Resumo

Este estudo compara três núcleos de alvenaria estrutural – bloco de concreto vazado, bloco cerâmico vazado e tijolo cerâmico maciço – em duas edificações de Curitiba, São Paulo e Belém, considerando custo, impacto ambiental e desempenho térmico. Foram realizadas consultas em sistemas nacionais de composição de custo e emissões de CO_2, além de simulações energéticas avaliadas por Carga Térmica (CT) e Graus-hora (GH). Os núcleos de blocos de concreto e cerâmicos vazados se destacaram, apresentando os melhores custos e menores emissões de CO_2 na fabricação (variação de até 10%). Em Curitiba e São Paulo, o bloco cerâmico vazado melhorou o desempenho térmico em até 8% (CT) e 16% (GH). Em Belém, o bloco de concreto vazado foi mais indicado para CT (até 38% de redução), enquanto o bloco cerâmico vazado se sobressaiu para GH (até 15%). Este estudo reforça que a escolha adequada de sistemas construtivos e um bom planejamento arquitetônico são essenciais para construções mais sustentáveis.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural; Eficiência energética; Impacto ambiental; Desempenho térmico; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study compares three structural masonry systems – hollow concrete block, hollow ceramic block, and solid ceramic brick – across two building typologies in Curitiba, São Paulo, and Belém, considering cost, environmental impact, and thermal performance. Data were collected from national cost composition and CO_2 emission databases, as well as from energy simulations evaluated by Thermal Load (CT) and Degree-Hour (GH) metrics. The hollow concrete and hollow ceramic block systems outperformed the solid ceramic brick, offering the best cost-effectiveness and lowest manufacturing CO_2 emissions (variation up to 10%). In Curitiba and São Paulo, the hollow ceramic block improved thermal performance by up to 8% (CT) and 16% (GH). In Belém, the hollow concrete block proved more suitable for CT (achieving up to a 38% reduction), while the hollow ceramic block excelled in GH (up to 15%). This study underscores that the appropriate selection of construction systems, coupled with robust architectural planning, is critical for sustainable building performance.

Keywords: Structural masonry; Energy efficiency; Environmental impact; Thermal performance; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais impactam o meio ambiente, tanto pelo alto consumo de recursos naturais e energia quanto pela emissão de gases de efeito estufa (Lopes *et al.*, 2023). Diante desse cenário, a busca por soluções de baixo carbono e práticas construtivas sustentáveis tornou-se essencial para reduzir esses impactos e promover práticas construtivas que conciliem eficiência energética, viabilidade econômica e menor pegada ambiental. Entre os desafios atuais, a escolha do sistema construtivo desempenha um papel crucial, influenciando não apenas os custos, mas também fatores como impacto ambiental e desempenho térmico da edificação.

Existem diversos sistemas de alvenaria, que são amplamente utilizados no Brasil, como aquelas que têm seu núcleo composto por blocos vazados de cerâmica ou concreto e os tijolos maciços cerâmicos. A cerâmica, devido à sua principal matéria prima argila, emite menos CO_2 no seu processo de fabricação (Sugiyama *et al.*, 2016). Já o concreto é material de alta emissão de carbono, devido, principalmente à fabricação do cimento (Pérez *et al.*, 2024). Além do impacto ambiental e econômico, esses materiais influenciam o desempenho térmico das edificações (Lamberts *et al.*, 2020). O bloco cerâmico vazado, com suas câmaras de ar no núcleo, reduz a transmissão de calor, funcionando como uma barreira térmica. O bloco de concreto também possui cavidades que contribuem para a redução da transmissão térmica, embora seja mais denso e libere calor de forma mais lenta, estabilizando a temperatura interna. Já o tijolo maciço, mais denso, absorve e libera calor lentamente, estabilizando a temperatura interna. O custo desses materiais também varia entre regiões, influenciado por logística, matéria-prima e demanda.

Apesar da relevância do tema, não foi identificado na literatura brasileira um estudo que avaliasse simultaneamente variações climáticas, custos regionais e impacto ambiental desses núcleos de parede. Assim, este estudo compara núcleos de bloco cerâmico, bloco de concreto e tijolo maciço cerâmico, fazendo avaliação ambiental, financeira e de desempenho térmico para duas edificações de pequeno porte em três cidades brasileiras de diferentes climas. A análise utiliza dados de sistemas nacionais e simulações energéticas, avaliando o comportamento térmico da edificação em diferentes cenários. O objetivo é fornecer subsídios para uma tomada de decisão mais sustentável no setor da construção civil, considerando não apenas viabilidade econômica, mas também eficiência energética, conforto térmico e redução das emissões de carbono.

2 METODOLOGIA

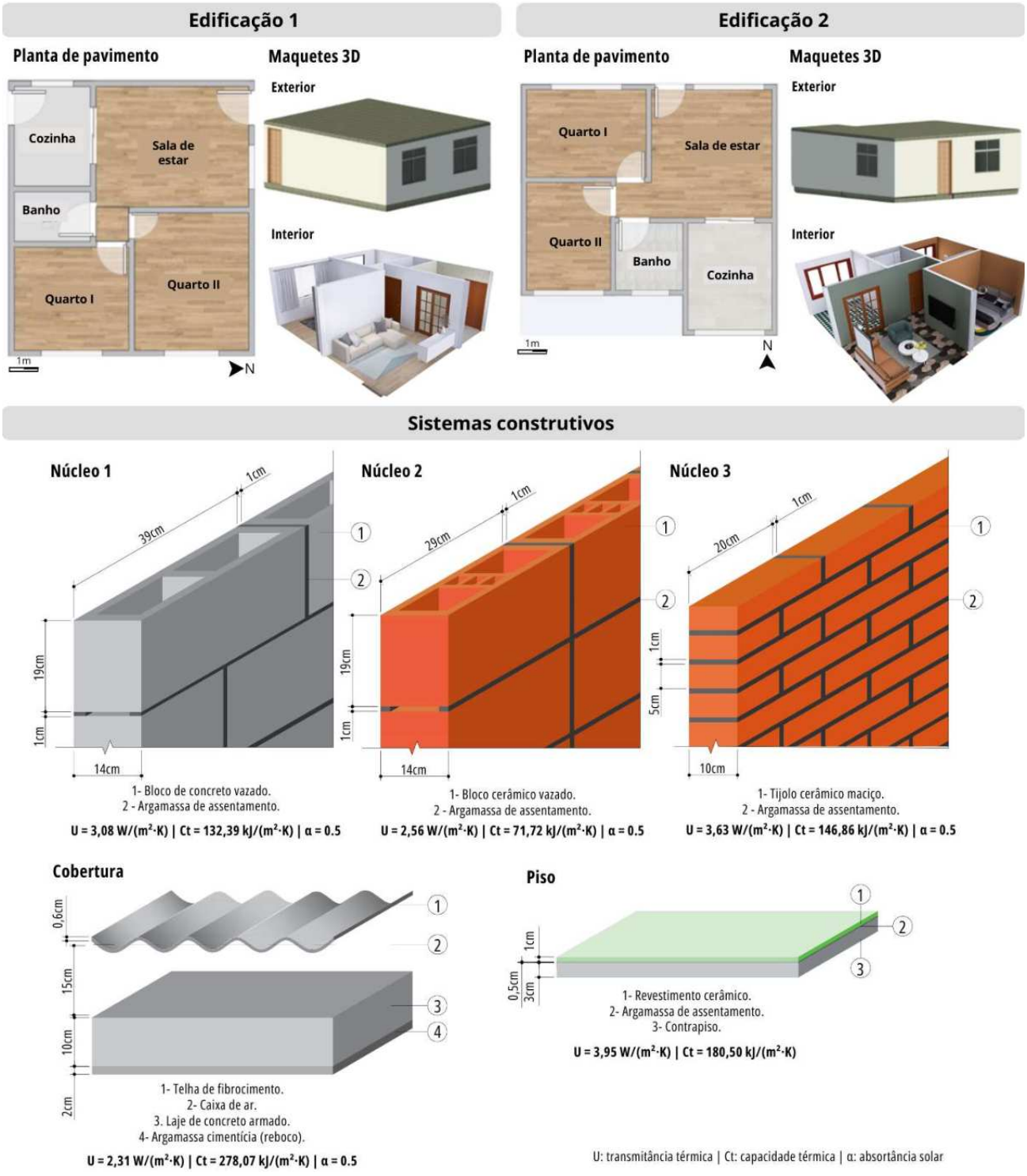
Neste trabalho, foram realizadas simulações termo energéticas, levantamento de custos e emissões de CO_2 para avaliar o desempenho térmico, o impacto econômico e ambiental de dois núcleos de paredes em duas edificações de pequeno porte, em três localidades do Brasil: Curitiba/PR (Zona Bioclimática 1M – ZB1M), São Paulo/SP (ZB2M) e Belém/PA (ZB5A) (ABNT, 2024) Como se verifica na Figura 1, as edificações compreendem uma área total de 40m², sendo unifamiliares, contendo sala, cozinha, banheiro e 2 quartos. Foram avaliados três núcleos de alvenaria estrutural. O núcleo 1 utiliza bloco de concreto de 14cm de espessura, o núcleo 2 é composto por bloco cerâmico vazado (14cm) e o núcleo 3 utiliza tijolo cerâmico maciço (10cm). Em todos os critérios de análise, foi considerada a argamassa de assentamento dos tijolos (1cm) nas juntas vertical e horizontal dos sistemas. Essas paredes não foram consideradas revestidas, para isolar o efeito dos núcleos – foco das análises.

Na análise de desempenho térmico, foram aplicados dois métodos: Carga Térmica (CT), que avalia a quantidade de energia necessária para climatizar ativamente a edificação, e Graus-hora (GH), que mede a intensidade do desconforto térmico em ambientes climatizados passivamente (ex. ventilação natural), conforme a metodologia descrita por Mendes *et al*. (2025). Em ambos os métodos, quanto menor o valor obtido, melhor o desempenho térmico da edificação. Foi utilizado o software EnergyPlus® v22.1, configurado conforme a NBR 15575-1 (2023), que, embora não trate diretamente do método GH, apresenta procedimentos para análises ativa e passiva do desempenho térmico. Foram adotados os dados climáticos TMYx das cidades analisadas.

Nas análises de custo e impacto ambiental, os valores foram extraídos de duas fontes: Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI) e Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC). O SINAPI fornece mensalmente planilhas de composição de custo para serviços e insumos da construção civil em cada estado brasileiro, sendo utilizadas as planilhas de dezembro de 2024. Já o SIDAC reúne informações sobre as emissões de CO_2 associadas à fabricação de materiais de construção, desde a extração da matéria-prima até o fim da produção, para o cenário nacional, sem

detalhamento por estado. As emissões utilizadas neste estudo foram calculadas a partir das médias dos intervalos apresentados pelo SIDAC.

Figura 1: Edificação e sistemas analisados



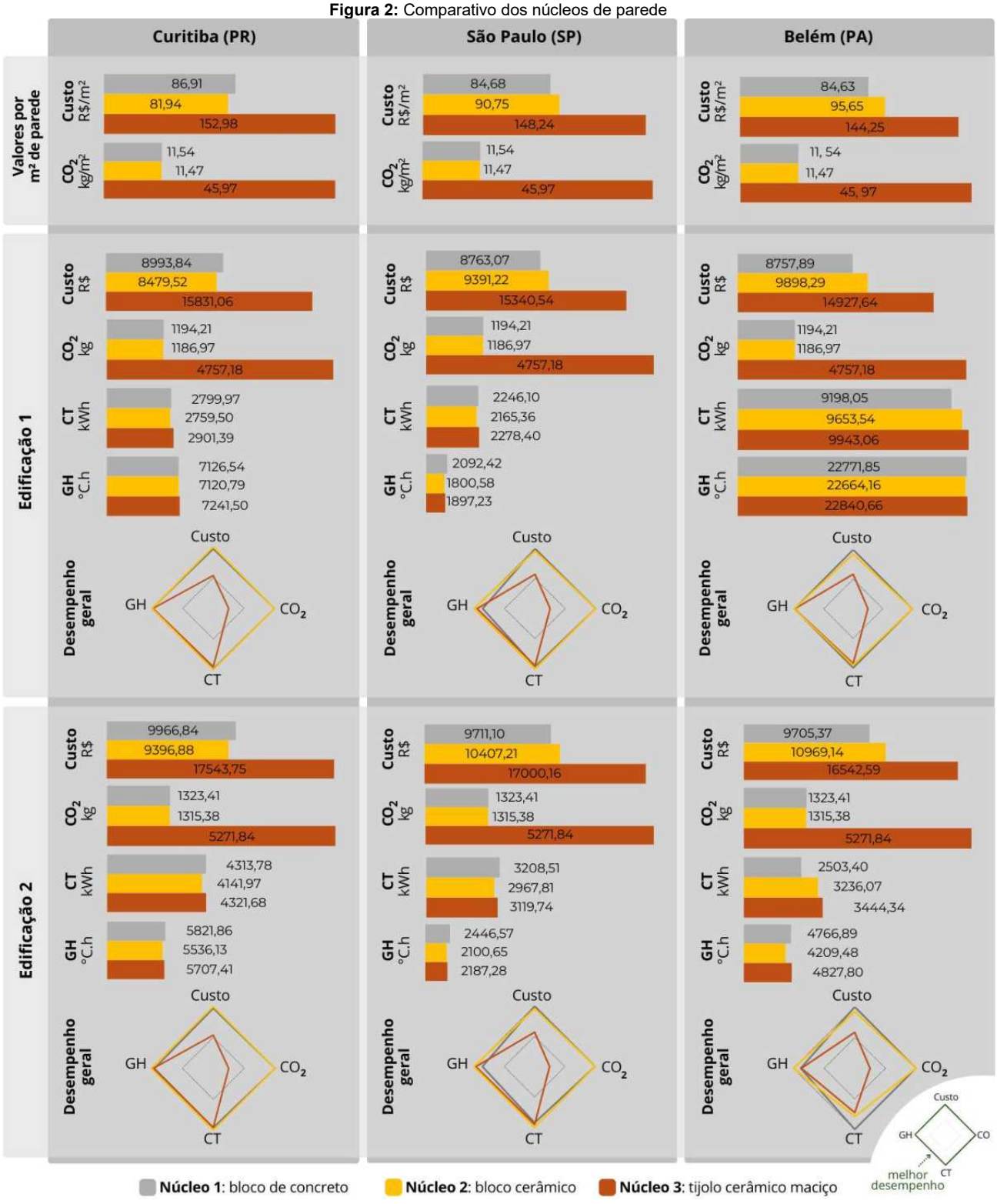
Fonte: os autores.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Como se observa na Figura 2, o núcleo 2 (bloco cerâmico vazado), embora apresente o menor custo para as edificações em Curitiba (apenas R$ 81,94/m²), torna-se mais oneroso nas demais cidades, sendo superado pelo núcleo 1 (bloco de concreto vazado), que registra preços inferiores em R$ 6,07/m² e R$ 11,02/m² em São Paulo e Belém, respectivamente, sendo em média 10% mais barato. Em contrapartida, o núcleo 3 (tijolo

cerâmico maciço) se manteve como o mais caro nas três localidades, com um custo médio de R$ 148,49/m² e sendo em média 87% mais caro.

Figura 2: Comparativo dos núcleos de parede



Fonte: os autores.

No que tange ao impacto ambiental, o núcleo 3 apresentou emissões 300% superiores às dos demais, fato atribuído ao elevado consumo de argamassa para assentamento dos tijolos, mesmo considerando o uso de cimento na fabricação dos blocos de concreto, por exemplo. Apesar do núcleo 1 e 2 apresentarem valores próximos de $kgCO_2$, o segundo se despontou como aquele que gera ligeiramente menor impacto ambiental para a sua fabricação (-0,61%). Essa análise reforça a necessidade de reduzir o consumo de materiais

cimentícios e de avaliar o sistema construtivo como um todo – não apenas os elementos portantes, mas também a argamassa de assentamento (Guimarães *et al.*, 2023).

Além disso, a diferença de cerca de 10% na área de parede entre as edificações evidencia que essa variação no *layout* gera, de forma consequente, diferenças de custos e de emissões de CO_2 entre os projetos. Eleftheriadis et al. (2018) apontou em seu estudo que a otimização do *layout* de edificações é um dos fatores mais influentes para redução de custos e de emissões de CO_2 associadas aos materiais de construção. Para as edificações analisadas em Curitiba, por exemplo, observou-se uma economia de R$ 7.351,54 na edificação 1 e de R$ 8.146,87 na edificação 2 (entre os núcleos 2 e 3). De forma análoga, essa diferença na área de parede resultou em variações de 3.570,22 $kgCO_2$ na edificação 1 e 3.956,46 $kgCO_2$ na edificação 2.

Observa-se que, quando se considera a climatização ativa (método CT), o núcleo 2 é o mais indicado tanto para climas muito frios (Curitiba) um pouco mais amenos (São Paulo). O uso do núcleo 2 resulta em uma redução da energia demandada de até 5% em Curitiba e até 8% em São Paulo. Esse desempenho se deve à sua menor transmitância térmica (U = 2,66 W/(m²·K)), que garante um isolamento eficiente do ambiente interno contra as variações de temperatura externas, permitindo que o sistema de climatização opere com menos interferências. Além disso, a baixa capacidade térmica (Ct = 71,72 kJ/(m²·K)) permite uma rápida resposta às variações internas, o que é vantajoso em ambientes com alto isolamento térmico e uso de sistemas como ar-condicionado, pois facilita a rápida adaptação do ambiente para manter o conforto térmico. Desempenhos semelhantes foram identificados no estudo de Mendes et al. (2025), para climas frios do Brasil.

Por outro lado, no clima muito quente de Belém, o núcleo 1 se destaca, proporcionando uma economia de até 38%. Com valores mais elevados de transmitância (U = 3,08 W/(m²·K)), esse sistema facilita a dissipação do calor interno. Essa característica é particularmente importante na edificação 1, onde, influenciada por diversos fatores, como possivelmente o tamanho e a orientação das janelas, os resultados indicam que ela aquece quase 2 vezes mais do que a edificação 2, demonstrando um acúmulo de calor mais expressivo.

Na análise passiva do desempenho térmico, medida pelo método GH, o núcleo 2 novamente se sobressai, contudo, em todos os cenários dessa vez. Em Curitiba, a economia alcançada foi de até 5%, em São Paulo o aumento do desempenho térmico chegou até 16%, enquanto em Belém foi de até 15%. Esse desempenho superior do núcleo 2 reflete o seu papel do isolamento térmico, que impede a transferência de calor entre as superfícies da parede, mantendo o interior da edificação mais independente das variações climáticas ao longo do dia. Essas variações de melhor núcleo para o desempenho térmico das edificações, principalmente em climas quentes, ressaltam que as diferentes metodologias de avaliação (CT vs. GH) podem alterar o ranqueamento dos sistemas, conforme reportado por Mendes et al. (2024), e evidenciam a importância de se considerar as características térmicas de cada núcleo para otimizar o desempenho das edificações (Cruz *et al.*, 2024).

Dessa forma, em Curitiba e São Paulo, o núcleo 2 se destaca pelo relativo alto desempenho térmico, baixo custo e emissões de CO_2 para a sua fabricação. Em Belém, o núcleo 1 é mais vantajoso em edificações com climatização ativa, enquanto o núcleo 2 se mostra ideal para construções sem ar-condicionado, proporcionando conforto térmico consistente. Além disso, tanto o núcleo 1 quanto o núcleo 2 apresentam constantemente baixos valores de emissões de CO_2 na fabricação (variação de 1%) e custos reduzidos de construção (variação média de 10%), reforçando sua viabilidade econômica e ambiental.

4 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que, em Curitiba, o núcleo 2 foi a escolha ideal, combinando baixo custo (R$81,94/m²), baixas emissões e desempenho térmico superior – com reduções de até 5% tanto em CT quanto em GH. Em São Paulo, o núcleo 2 também se destacou, reduzindo a demanda energética em até 8% (CT) e aumentando o conforto térmico em até 16% (GH), mesmo com um custo cerca de 10% superior ao do núcleo 1. Em Belém, pelo método CT, o núcleo 1 ofereceu economia de até 38%, enquanto, na avaliação passiva (GH), o núcleo 2 melhorou o desempenho em até 15%. Por outro lado, o núcleo 3, com custo médio de R$148,49/m², emissões 300% superiores e baixo desempenho térmico em todos os casos, não se sobressaiu em nenhum cenário.

Este estudo reforça a importância de integrar custos, impactos ambientais e desempenho térmico na escolha dos sistemas construtivos. Estudos futuros devem ampliar a análise para outras tipologias, localidades, sistemas construtivos e métodos de avaliação de desempenho térmico, a fim de identificar soluções ainda mais eficientes e sustentáveis em contextos climáticos diversos.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de fomento CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Código Financeiro 001 – bolsa de doutorado para Vítor Mendes) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – projeto 305818/2023-6 para Júlia Mendes e bolsa 400077/2023-0 para Eduardo Ribeiro). Os autores também agradecem ao IFMG, pelas bolsas de iniciação científica de Poliana Arcanjo e Marcos Tavares.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220-3 - Desempenho térmico em edficações. Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho.** Rio de Janeiro. 2024.

ABNT. **NBR 15575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2023.

CRUZ, A. S.; MENDES, V. F.; MENDES, J. C.; CALDAS, L. R., BASTOS, L. E. G. What lies ahead? The future performance of Global South residential buildings amid climate change: A systematic literature review. **Journal of Building Engineering**, v. 98, p. 111486, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111486

ELEFTHERIADIS, S.; DUFFOUR, P.; GREENING, P.; JAMES, J.; STEPHENSON, B.; MUMOVIC, D. Investigating relationships between cost and CO2 emissions in reinforced concrete structures using a BIM-based design optimisation approach. **Energy and Buildings**, v. 166, p. 330-346, 2018. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.059

GUIMARÃES, B. M.; SPOSTO, R. M.; LIRA, J. S. M. M.; SILVA JR; E. E. A.; DIAS, A. C. O. Impacto ambiental da escolha de materiais: avaliação das emissões de CO2 na utilização de madeira versus blocos cerâmicos para veda-ção em habitações. **Observatorio de la economía latinoamericana**, v. 21, n. 10, p. 16135-16157, 2023. https://doi.org/10.55905/oelv21n10-089

LAMBERTS, R; MELO, A. P.; TRIANA, M. A.; ELI, L. G.; KRELLING, A. F. **Análise de custo/benefício de parâmetros de eficiência energética em Habitações de Interesse Social**. [S.l.]. 2020.

LOPES, C. M. N.; MENDES, V. F.; GARCIA, D. R.; MENDES, J. C. Residues in cement-based composites: Occurrence mapping in Brazil. **Case Studies in Construction Materials**, v. 18, p. e01763, 2023. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01763

MENDES, V. F.; CRUZ, A. S.; GOMES, A. P.; MENDES, J. C. Exploring the impact of evaluation methods on Global South building design—A case study in Brazil. **Building Simulation**, p. 1-21, 2024. https://doi.org/ 10.1007/s12273-024-1160-3

MENDES, V. F.; CARVALO, A. R.; CASTRO, J. A.; MENDES, J. C. Impacto do tipo e da espessura das argamassas de revestimento produzidas com resíduos no desempenho térmico de edificações. **Ambiente Construído**, v. 25, p. e139195, 2025. https://doi.org/10.1590/s1678-86212025000100854.

PÉREZ, O. F. A; ARRIETA, V. S.; OSPINA, J. H. G.; HERRERA, S. H.; ROJAS, C. F. R.; NAVARRO, A. M. S. Carbon dioxide emissions from traditional and modified concrete: A review. **Environmental Development**, v. 52, p. 101036, 2024. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101036

SUGIYAMA, T.; KUSSOMOTO, K.; OHASHI, M.; KAMIYA, A. Environmental Friendly Ceramic Building Materials. **Key Engineering Materials**, v. 690, p. 150-155, 2016. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.690.150