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.v21i1.8685

Desempenho termoenergético de uma edificação em taipa de pilão no clima tropical: influência da espessura da parede e do padrão de uso

Thermal and energy performance of a rammed earth building in a tropical climate: effects of wall thickness and occupancy patterns

Mayara Tartarotti Cardozo da Silva
UFMS | Campo Grande | Brasil | mayaratartarotti@gmail.com
Ana Paula da Silva Milani
UFMS | Campo Grande | Brasil | ana.milani@ufms.br

Resumo

A taipa de pilão se apresenta como sistema construtivo de baixo impacto ambiental, porém seu desempenho termoenergético depende de variáveis como o clima, características construtivas e o tipo de uso da edificação. Este estudo analisa, por meio de simulação computacional (EnergyPlus e JEplus), uma edificação real localizada em Campo Grande-MS, em clima tropical, considerando paredes de taipa com espessuras de 12, 20 e 30 cm e dois padrões de ocupação (uso misto e dormitório). Foram avaliados os indicadores de carga térmica de resfriamento e horas de desconforto durante o uso. Os resultados evidenciam comportamentos distintos conforme o uso. No cenário de uso misto, o aumento da espessura reduziu a carga térmica e as horas de desconforto. Já no cenário dormitório, o aumento da espessura elevou a carga térmica, devido ao atraso térmico que desloca o pico de temperatura para o período noturno, embora tenha reduzido as oscilações térmicas internas. Conclui-se que o desempenho da taipa depende da interação entre clima, espessura e padrão de ocupação, fornecendo subsídios para decisões de projeto em climas tropicais.

Palavras-chave: Desempenho termoenergético. Clima tropical. Espessura de parede. Simulação computacional.

Abstract

Rammed earth presents potential as a low-environmental impact construction system; however, its thermal and energy performance depends on variables such as climate, constructive characteristics, and the type of building use. This study analyzes, through computer simulation (EnergyPlus and JEPlus), a real building located in Campo Grande, MS, in a tropical climate, considering wall thicknesses of 12, 20, and 30 cm and two occupancy patterns (mixed-use and dormitory). Cooling thermal load indicators and discomfort hours during occupancy were evaluated. The results demonstrate distinct behaviors according to use. In the mixed-use scenario, increasing the thickness reduced both the thermal load and discomfort hours. Conversely, in the dormitory scenario, increasing the thickness raised the thermal load due to the thermal lag that shifts the temperature peak to the nighttime period, despite reducing internal thermal oscillations. It is concluded that the performance of rammed earth depends on the interaction between climate, thickness, and occupancy pattern, providing guidelines and support for design decisions in tropical climates.

Keywords: Thermal energy performance. Tropical climate. Wall thickness. Energy simulation.

CARDOZO DA SILVA, M.T.; MILANI, A. P. S. Desempenho termoenergético de uma edificação em taipa de pilão no clima tropical: influência da espessura da parede e do padrão de uso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8685

INTRODUÇÃO

A busca por soluções construtivas mais sustentáveis e energeticamente eficientes tem impulsionado o interesse por sistemas baseados em materiais naturais e técnicas vernaculares. Nesse contexto, materiais como a terra crua tem ganhado destaque, especialmente devido ao seu baixo impacto ambiental e potencial de desempenho térmico [1]. Neste contexto, a taipa de pilão destaca-se por incorporar materiais locais, apresentar baixo consumo energético no processo construtivo e oferecer desempenho térmico adequado em diferentes contextos climáticos [2].

A taipa apresenta elevada massa térmica e capacidade de regulação higrotérmica, características que influenciam diretamente o conforto ambiental e o consumo energético das edificações. Materiais com alta capacidade térmica possuem maior potencial de armazenamento e liberação de calor ao longo do dia, contribuindo para a estabilidade térmica dos ambientes internos [3]. Além disso, sua estrutura porosa permite a troca de umidade com o ambiente, contribuindo para o equilíbrio higrotérmico e para a melhoria das condições de conforto [4].

Entretanto, o desempenho termoenergético desse sistema construtivo está diretamente relacionado às condições climáticas em que a edificação está inserida, uma vez que variáveis como temperatura, umidade e radiação solar influenciam os mecanismos de transferência de calor e umidade na envoltória. Estudos demonstram que o comportamento térmico de materiais de terra varia significativamente conforme o clima, sendo particularmente eficiente em regiões quentes [5].

Outro fator relevante é a variabilidade das propriedades higrotérmicas da taipa, influenciada por aspectos como granulometria, porosidade e teor de umidade. Essa variabilidade representa um desafio para sua modelagem em simulações computacionais, uma vez que dificulta a definição de parâmetros representativos. A heterogeneidade do material pode resultar em diferenças significativas no comportamento térmico, reforçando a necessidade de considerar essa variabilidade para aumentar a confiabilidade das simulações [4][6]. Assim, foi realizada a análise da incerteza das propriedades higrotérmicas da taipa por meio de simulações computacionais em clima com verões úmidos e invernos secos, indicando que diferentes modelos de cálculo podem apresentar resultados semelhantes para o desempenho termoenergético, desde que os parâmetros de entrada sejam adequadamente representativos do material em estudo [7].

Além das propriedades do material, parâmetros construtivos como a espessura das paredes exercem influência significativa no desempenho térmico, especialmente em materiais de alta massa térmica, devido ao fenômeno de atraso térmico [8]. Adicionalmente, o desempenho termoenergético das edificações não depende apenas das características construtivas e das condições climáticas, mas também dos padrões de uso e ocupação, que influenciam diretamente as cargas internas e os perfis de operação, conforme indicado por normas de desempenho [9].

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo analisar a influência da espessura de paredes de taipa de pilão (12, 20 e 30 cm) e de diferentes padrões de ocupação (uso

misto e dormitório) no desempenho termoenergético de uma edificação localizada em clima tropical (Campo Grande-MS). A partir dos indicadores de carga térmica de resfriamento e horas de desconforto durante a ocupação, busca-se compreender como a interação entre inércia térmica e perfil de uso afeta o conforto do usuário e a demanda energética, fornecendo subsídios para decisões de projeto mais eficientes.

METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A cidade selecionada para a inclusão dos dados climáticos na simulação foi Campo Grande-MS. A escolha da localidade está diretamente relacionada ao objeto de estudo, uma vez que a modelagem e as simulações foram realizadas com base em uma edificação real situada nessa cidade. Dessa forma, a utilização de dados climáticos locais permite maior aderência entre o modelo simulado e as condições reais de operação da edificação.

A cidade de Campo Grande-MS está inserida na zona bioclimática 6, correspondente à região central do país. Essa zona é considerada representativa de parte significativa do território brasileiro, especialmente da região Centro-Oeste e de áreas do Sudeste e Nordeste, o que amplia o potencial de aplicação dos resultados para contextos climáticos semelhantes [10].

Além da classificação estabelecida pela norma brasileira, foram consideradas abordagens mais recentes de regionalização climática. Estudos recentes propõem uma subdivisão do território nacional em dez zonas climáticas, com base em análises mais detalhadas de dados meteorológicos e geográficos [11]. Nessa proposta, a cidade de Campo Grande permanece inserida em uma zona caracterizada por clima quente com períodos de seca bem definidos.

Os dados climáticos utilizados nas simulações foram obtidos a partir de arquivos meteorológicos contendo informações horárias de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento. Esses dados foram utilizados como condições de contorno nos modelos computacionais, conforme metodologia adotada em simulações energéticas com o software EnergyPlus [12].

MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A modelagem da edificação foi realizada no software SketchUp e posteriormente exportada para o EnergyPlus (versão 9.4), com o uso do Jeplus (versão 2.1.0) para a execução das simulações paramétricas.

A edificação modelada corresponde a um ambiente representativo de uma edificação real, localizada no Canteiro Experimental da UFMS (Figura 1). Em pesquisas anteriores foram detalhados modelagem, parâmetros de simulação e análises aprofundadas, incluindo avaliação da incerteza das propriedades higrotérmicas, análise de sensibilidade e aplicação de métodos estatísticos [7].

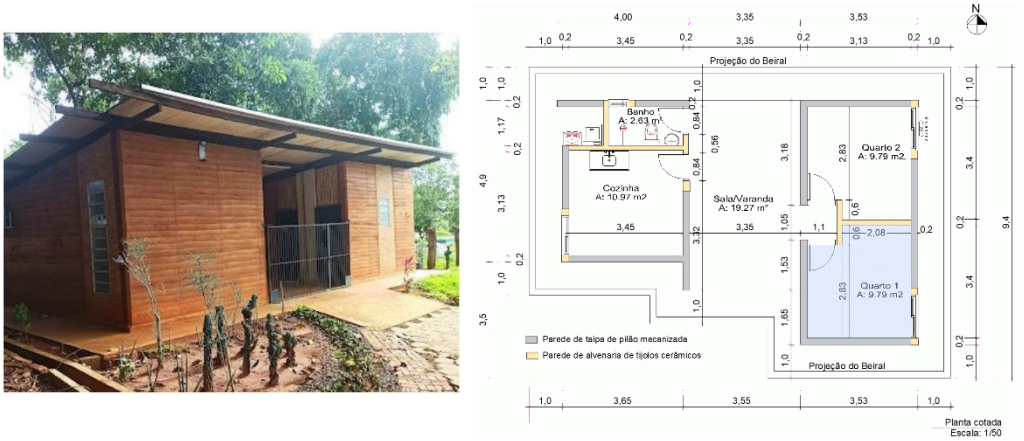
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8685

Especificamente neste estudo, optou-se por focar na análise dos indicadores diretamente relacionados ao desempenho térmico percebido pelos usuários, em especial a carga térmica de resfriamento e as horas de desconforto durante a ocupação, por serem mais representativos para o clima analisado, permitindo avaliar tanto a demanda energética quanto a adequação das condições internas ao longo do tempo [13][14].

Dessa forma, foram consideradas paredes de taipa de pilão com espessuras de 12, 20 e 30 cm, valores representativos de aplicações contemporâneas, especialmente em função da tendência de redução da espessura em comparação às construções tradicionais [8].

Adicionalmente, foram considerados dois modelos de uso e ocupação do ambiente: uso tipo dormitório e uso misto, definidos com base em perfis de ocupação recomendados pela norma [9], de forma a representar diferentes padrões de utilização e sua influência no desempenho termoenergético.

Figura 1: Edificação do Canteiro Experimental UFMS.



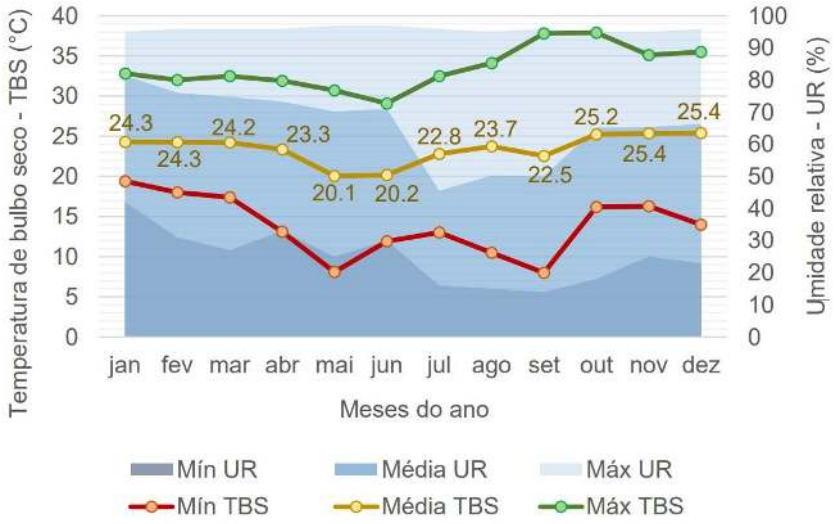
Nota: Foto da fachada norte da Edificação do Canteiro Experimental UFMS e planta baixa da edificação.
Fonte: autoras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE CLIMÁTICA

A Figura 2 apresenta a variação anual da temperatura e da umidade relativa em Campo Grande-MS. Observa-se a predominância de temperaturas elevadas ao longo do ano, com maior intensidade nos meses de primavera e verão, associadas a níveis elevados de umidade relativa. Esse comportamento climático evidencia a predominância de condições que favorecem a demanda por resfriamento nas edificações, aspecto também identificado em estudos realizados em climas tropicais [14].

Figura 2: Gráfico de temperatura e umidade mínimas, médias e máximas da cidade de Campo Grande – MS.



Fonte: autoras.

A análise climática considerou também o comportamento dos ventos na região. A Figura 3 apresenta a distribuição da velocidade e direção dos ventos, evidenciando a predominância de direções específicas ao longo do ano, bem como a ocorrência de velocidades moderadas. Destaca-se ainda a baixa frequência de ocorrência de ventos provenientes do sul do país - geralmente associados à entrada de massas de ar frio - o que reforça a predominância de condições climáticas quentes na região.

Esse padrão indica potencial para a adoção de estratégias passivas de ventilação natural, que podem contribuir para a dissipação do calor acumulado no interior das edificações. Em climas quentes, a ventilação cruzada é considerada uma estratégia eficiente para a melhoria do conforto térmico [15].

A análise conjunta das Figuras 2 e 3 permite caracterizar o contexto climático local como predominantemente quente, com elevada demanda por resfriamento e potencial de aproveitamento da ventilação natural como estratégia passiva.

Figura 3: Gráfico de velocidade e direção do vento da cidade de Campo Grande – MS.



Fonte: autoras.

SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA

A análise dos resultados de simulação termoenergética evidenciou diferenças significativas no comportamento térmico da edificação em função dos padrões de ocupação e da espessura das paredes de taipa.

Para entender os padrões observados nas Figuras 4 e 5, é necessário considerar a interação entre o atraso térmico, o amortecimento das variações térmicas, os horários de ocupação e o acionamento do sistema de climatização. A Figura 6 ilustra a variação horária da temperatura interna para dias típicos de verão e inverno, dados necessários para compreender o fenômeno do atraso térmico. Nota-se que o pico de temperatura interna ocorre algumas horas após o pico externa, ou seja, pode-se estimar o atraso térmico entre 3 e 4 horas, porém esse parâmetro pode atingir valores próximos a 7 horas conforme a literatura [16].

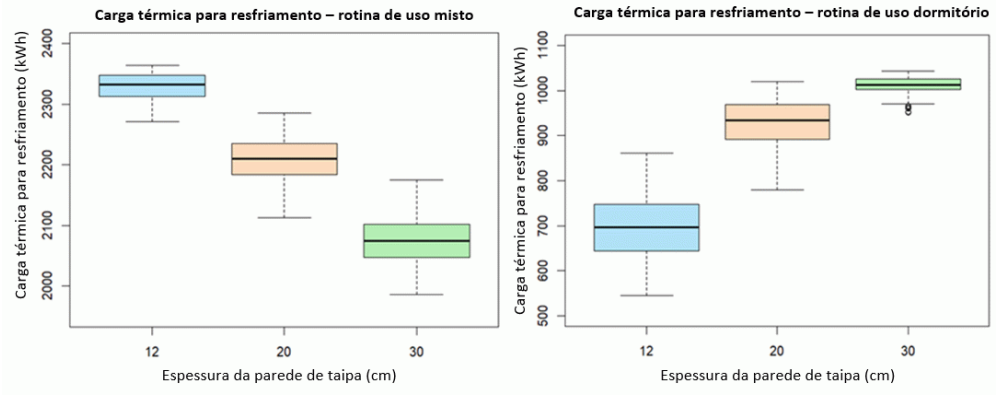
Assim sendo, observa-se que no cenário de uso misto, com ocupação das 14h às 8h do dia seguinte, o sistema de climatização é acionado ainda no período da tarde, coincidindo com os momentos de maior carga térmica externa. Logo, o resfriamento atua de forma antecipada, reduzindo o acúmulo de calor na envoltória. Paredes mais espessas - devido à maior inércia térmica - promovem maior amortecimento das oscilações térmicas e contribuem para a estabilização das condições internas, resultando em menor carga térmica total ao longo do período analisado. Consequentemente, observa-se uma relação inversa entre espessura da parede e demanda de resfriamento (Figura 4), bem como redução das horas de desconforto (Figura 5).

Por outro lado, no cenário de ocupação tipo dormitório, com uso concentrado entre 22h e 8h, o comportamento térmico apresenta uma dinâmica distinta. Durante o período diurno, na ausência de resfriamento ativo, as paredes absorvem calor e, em função do atraso térmico, esse calor é liberado no período noturno, coincidindo com a permanência dos usuários. Nesse caso, o sistema de climatização passa a atuar de forma reativa, sendo acionado após o início da ocupação.

Como consequência, paredes mais espessas — que apresentam maior capacidade de armazenamento térmico — tendem a acumular mais calor e retardar sua dissipação, aumentando o tempo necessário para o resfriamento do ambiente. Esse comportamento resulta em uma relação diretamente proporcional entre espessura da parede e carga térmica de resfriamento no cenário dormitório (Figura 4), configurando um resultado que contraria a expectativa usual de melhoria energética associada ao aumento da massa térmica.

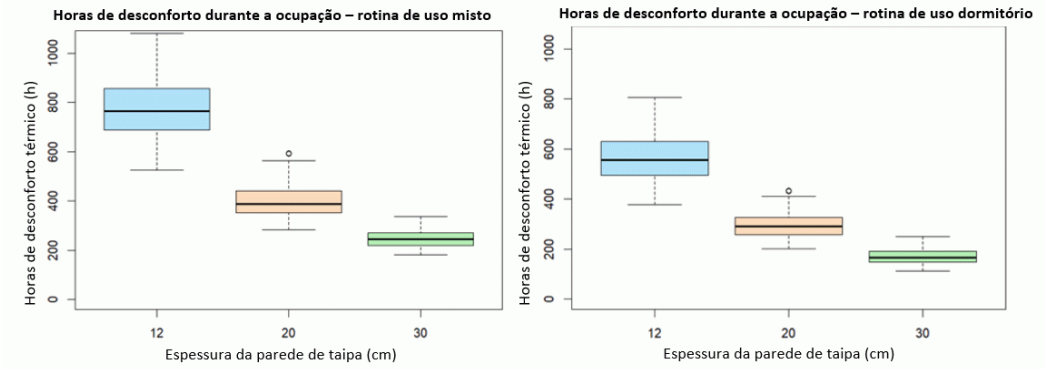
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8685

Figura 4: Histograma da carga térmica de resfriamento, considerando a rotina de uso de ocupação tipo uso misto e tipo dormitório.



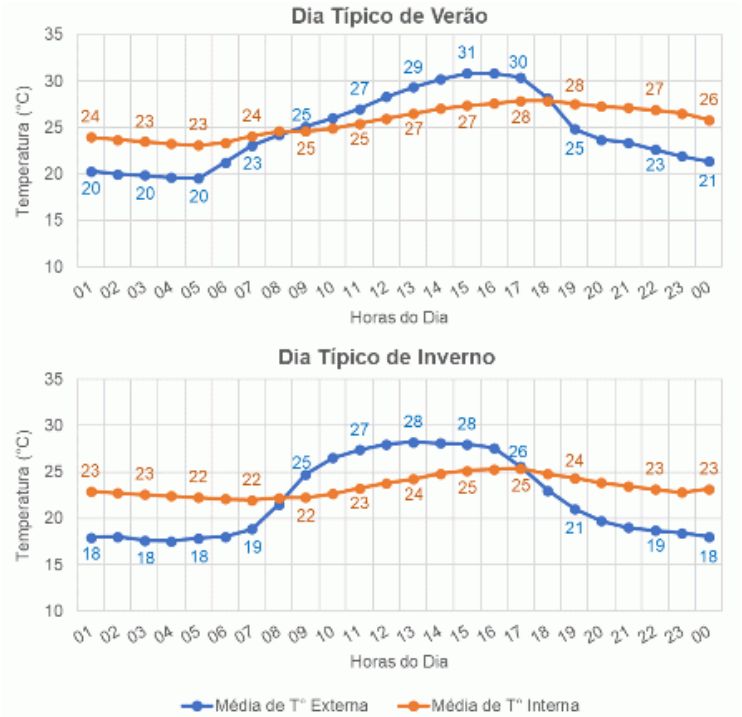
Fonte: autoras.

Figura 5: Histograma das horas de desconforto durante a ocupação, considerando a rotina de uso de ocupação tipo uso misto e tipo dormitório.



Fonte: autoras.

Figura 6: Gráficos de temperatura horária média em um dia típico de verão e inverno em Campo Grande -MS.



Fonte: autoras.

Apesar desse aumento na carga térmica de resfriamento, verifica-se simultaneamente uma redução das horas de desconforto com o aumento da espessura das paredes (Figura 5). Esse resultado evidencia que a maior inércia térmica contribui para o amortecimento das variações de temperatura interna, promovendo maior estabilidade térmica após o período inicial de resfriamento. Ainda assim, os níveis de desconforto permanecem superiores aos observados no uso misto, especialmente no início do período noturno, quando a temperatura interna ainda se encontra elevada.

De forma geral, os resultados indicam que o efeito da inércia térmica é fortemente dependente do padrão de uso da edificação. Em cenários com ocupação estendida ao período diurno, a massa térmica atua de forma benéfica, permitindo a antecipação do resfriamento e reduzindo a demanda energética. Em contrapartida, em ocupações predominantemente noturnas, o atraso térmico pode se tornar desfavorável, ao sincronizar o pico de temperatura interna com o período de permanência dos usuários.

Esse comportamento reforça a importância da inércia térmica no desempenho de edificações em terra, uma vez que materiais com elevada massa térmica apresentam maior capacidade de armazenamento de calor e redução das oscilações térmicas internas [3][1]. No entanto, seus efeitos não são uniformes: em ocupação predominantemente noturna, o atraso térmico pode aumentar o desconforto no início do período de uso, enquanto em cenários de uso prolongado, o acúmulo de calor pode demandar maior esforço de resfriamento [16].

Portanto, os resultados indicam que em ambientes de permanência noturna localizados em climas quentes, o uso de paredes de taipa com maiores espessuras deve ser associado a estratégias complementares de dissipação de calor. Essas estratégias incluem ventilação natural intensificada, ventilação forçada ou resfriamento passivo noturno, com o objetivo de reduzir o calor acumulado antes do período de ocupação.

Os resultados obtidos reforçam que o desempenho termoenergético da edificação é fortemente influenciado pelas condições climáticas locais. Em climas tropicais, como o de Campo Grande-MS, caracterizados por elevadas temperaturas e alta incidência solar, observa-se a predominância da demanda por resfriamento ao longo do ano, conforme também reportado na literatura [14][5].

Outro aspecto relevante é a influência dos padrões de ocupação nos resultados, uma vez que o desempenho energético das edificações não depende apenas das propriedades dos materiais, mas também das rotinas de uso e do comportamento dos usuários [16]. Nesse sentido, normas [9] estabelecem padrões de ocupação para simulação, buscando padronizar análises, embora nem sempre representem integralmente as condições reais.

Por fim, a análise integrada evidencia que o desempenho termoenergético da edificação em taipa de pilão está diretamente relacionado à interação entre condições climáticas, propriedades do material, espessura das paredes e padrões de ocupação, reforçando a necessidade de abordagens integradas na avaliação termoenergética.

CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que o clima tropical exerce influência significativa no desempenho termoenergético de edificações em taipa de pilão, com predominância da demanda por resfriamento e impacto direto nas condições de conforto térmico.

A espessura das paredes mostrou-se um parâmetro relevante, contribuindo para o aumento da inércia térmica e para a redução das oscilações de temperatura interna. No entanto, seus efeitos variam conforme o padrão de ocupação. Em cenários de uso predominantemente noturno, o atraso térmico associado a paredes mais espessas pode coincidir com os períodos de permanência dos usuários, resultando em aumento da demanda por resfriamento e das horas de desconforto.

Dessa forma, os resultados indicam que em ambientes de permanência noturna em climas quentes, o uso de paredes mais espessas deve ser associado a estratégias complementares de dissipação de calor, como ventilação natural intensificada, ventilação forçada ou resfriamento passivo noturno.

Como contribuição, o presente trabalho integra variáveis climáticas, espessura das paredes e padrões de ocupação em uma análise paramétrica aplicada a um modelo representativo de edificação real, fornecendo subsídios para diretrizes de projeto mais adequadas a contextos tropicais. Ressalta-se, contudo, que os resultados devem ser interpretados considerando as simplificações inerentes à modelagem e aos perfis de ocupação adotados.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT), pelo suporte financeiro à pesquisa.

DECLARAÇÃO

As autoras declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] BEN-ALON, L. et al. Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, p. 110951, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110951.

[2] HARRIES, K. A.; SHARMA, B. **Nonconventional and vernacular construction materials: characterisation, properties and applications**. 2 ed. Duxford, England; Cambridge, Massachusetts; Oxford, England: Woodhead Publishing, 2020.

[3] SZOKOLAY, S. V. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. Oxford: Architectural Press, 2008.

[4] BELIZARIO-SILVA, A.; BRITO, V. Efeito da variação das características higrotérmicas do concreto no comportamento higrotérmico de uma parede**. Ambiente Construído**, v. 24, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100713.

[5] YU, S. et al. Research on optimization of the thermal performance of composite rammed earth construction. **Energies,** v. 15, n. 4, p. 1519, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/en15041519.

[6] LOSINI, A. E. et al. Extended hygrothermal characterization of unstabilized rammed earth for modern construction. **Construction and Building Materials**, v. 409, p. 133904, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133904.

[7] SILVA, M. T. C. da; MILANI, A. P. da S. Uncertainty analysis of the hygrothermal properties of rammed earth for application in thermal energy simulation. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, 2026. DOI: https://doi.org/10.18830/1679-09442026v19e59563.

[8] SERRANO, S.; DE GRACIA, A.; CABEZA, L. F. Adaptation of rammed earth to modern construction systems: comparative study of thermal behavior under summer conditions. **Applied Energy**, v. 175, p. 180–188, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.010.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

[11] WALSH, A.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. **Proposta de zoneamento climático brasileiro para edificações residenciais**. São Paulo: Angélica Walsh, 2023. 102 p.

[12] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus Engineering Reference**. Washington, 2020.

[13] DURANTE, L. C. et al. Conforto térmico e consumo de energia em habitação: estudo comparativo de sistemas construtivos. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2020.

[14] FERNANDES, J. et al. Passive strategies used in Southern Portugal vernacular rammed earth buildings and their influence in thermal performance. **Renewable Energy**, v. 142, p. 345–363, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.162.

[15] GIUFFRIDA, G.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; CAPONETTO, R. Design optimisation strategies for solid rammed earth walls in Mediterranean climates. **Energies**, v. 14, n. 2, p. 325, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/en14020325.

[16] SAMADIANFARD, S.; TOUFIGH, V. Energy Use and Thermal Performance of Rammed-Earth Materials. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 32, n. 10, 2020. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003364.