ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Desempenho da Parede Trombe em climas amenos: estudo de materiais da camada interna

Performance of the Trombe Wall in mild climates: study of materials of the internal layer

Naiara Vilela Costa
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | vilela.costa@arquitetura.ufjf.br
Sabrina Andrade Barbosa
UERJ | Petrópolis | Brasil | s.andradebarbosa@gmail.com
Klaus Chaves Alberto
UFJF | Juiz de Fora | Brasil | klaus.alberto@ufjf.br

Resumo

A Parede Trombe (PT) é uma estratégia arquitetônica passiva que utiliza a radiação solar para melhorar o desempenho térmico. Suas investigações, contudo, têm sido focadas em climas frios severos e localizados no hemisfério norte. Este estudo tem como objetivo verificar os impactos da aplicação de diferentes materiais na camada de elevada massa térmica de uma PT no desempenho térmico de um ambiente em duas zonas bioclimáticas amenas brasileiras. Por meio de simulações computacionais realizadas no software Designbuilder, os resultados foram comparados a um ambiente base, e analisados nos períodos de inverno e verão (15 a 21 de julho e de janeiro). Os resultados indicaram que modelos de PT feitos com bloco de concreto e argamassa apresentam maior amplitude térmica diária do ar em todos os cenários. Já para os modelos de concreto e pedra basalto, os resultados indicaram um aumento da temperatura, apresentando as maiores taxas de conforto. Dentre as possibilidades simuladas, o melhor cenário de desempenho da PT foi no inverno de Juiz de Fora. Para os demais cenários evidencia-se a necessidade de estratégias bioclimáticas associadas a esse sistema.

Palavras-chave: Estratégia passiva. Energia solar. Bioclimatismo. Simulação computacional. Parede Trombe.

Abstract

The Trombe Wall (TW) is a passive architectural strategy that uses solar radiation to improve thermal performance. Their investigations, however, have been focused on severe cold climates located in the northern hemisphere. This study aims to verify the impacts of applying different materials in the high thermal mass layer of a TW on the thermal performance of an environment in two mild Brazilian bioclimatic zones. Through computer simulations carried out in the Designbuilder software, the results were compared to a base environment, and analyzed in the winter and summer periods (July 15th to 21st and January). The results indicated that TW models made with concrete blocks and mortar present greater daily air temperature amplitude

Como citar:
COSTA, N. V.; BARBOSA, S. A.; ALBERTO, K. C. Desempenho da Parede Trombe em climas amenos: estudo de materiais da camada interna. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

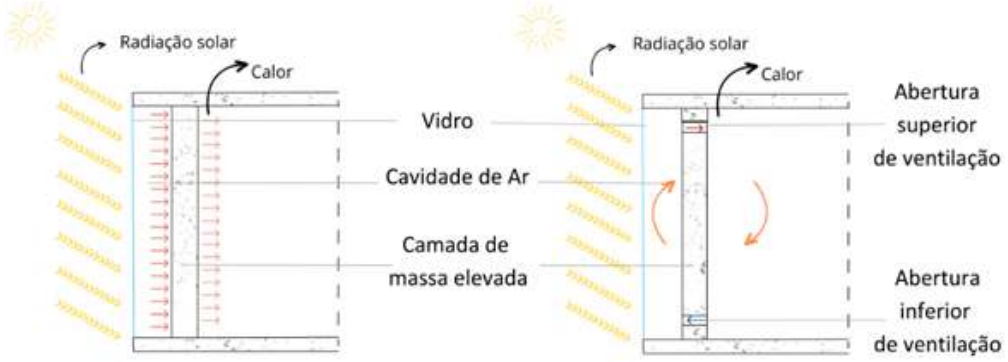
in all scenarios. For the concrete and basalt stone models, the results indicated an increase in temperature, presenting the highest comfort rates. Among the simulated possibilities, TW's best performance scenario was in the winter in Juiz de Fora. For the other scenarios, the need for bioclimatic strategies associated with this system is evident.

Keywords: Passive strategy. Solar energy. Bioclimatism. Computer simulation. Trombe Wall.

INTRODUÇÃO

A Parede Trombe (PT) é uma solução arquitetônica de aquecimento passivo que utiliza a radiação solar e que pode variar quanto à estrutura, materiais e função [1]. Em sua configuração tradicional (Figura 1), a PT é um sistema composto por uma camada de vidro afastada de uma parede de alta inércia térmica, formando uma cavidade de ar entre elas. Neste sistema, a radiação absorvida pelo vidro é convertida em energia térmica, e armazenada na parede, aumentando assim a sua temperatura [2]. Esta energia é então reemitida para o ambiente interno e para a cavidade por meio de radiação e convecção, contribuindo assim para o aumento da temperatura do ar [3]. Em climas amenos, aberturas da parede sólida (respiradouros) permitem a troca de ar entre a cavidade e o ambiente interno. Para que tenha melhor desempenho, indica-se que a PT deve ser orientada em direção à radiação máxima solar [4].

Figura 1: Parede Trombe tradicional, (a) sem e (b) com respiradouros.



Fonte: Adaptado de [2].

Diversos estudos têm investigado os impactos de variações no projeto da PT, como: a inserção de vidro nos fechamentos laterais da parede para receber a radiação solar de mais de uma orientação [5] [6] [7]; o uso de painel fotovoltaico [8] [9] [10] [11], o uso de venezianas introduzidas na cavidade [12] [13], o uso de PCM (*Phase Change Materials* - Materiais de mudança de fase) [14] [15] [16] [17] [18], bem como a concepção de sistemas mistos de Parede Trombe e outros sistemas passivos [5].

Um dos aspectos mais importantes no desempenho da PT consiste na configuração (espessura e material) da camada interna do sistema. Esse é um parâmetro que determina o período de transmissão do calor armazenado entre as camadas, sendo variável entre regiões climáticas e devendo ser calculado individualmente para cada instalação [27]. Sanchez e Hancco [23] utilizaram uma parede de 25 cm feita com tijolos e pastilhas que alcançaram um aumento de 155% da temperatura no desempenho da nova PT, em relação ao caso sem pastilhas no Chile. Alqaed, Mustafa

e Sharifpur [26] verificaram espessuras de 10 a 40 cm de uma parede que intercalou tijolos e PCM e descobriram que quanto mais espessa a parede, mais tempo ela mantém a temperatura. Hou *et al.* [28] utilizaram uma camada interna de 24 cm feita com tijolos em um estudo sobre PCM e camada isolante na China. Eles verificaram um aquecimento maior e mais prolongado do ambiente do que o caso do sistema PT sem PCM, de até 2°C durante a noite e 3°C durante o dia. De forma diferente, o estudo de Charqui *et al.* [25] testou três larguras de um painel preenchido com água. Como resultados, eles identificaram que o aumento da largura da camada de água de 10 cm para 20 cm proporcionou melhoria na eficiência energética do edifício.

Para o clima mediterrâneo de Évora, em Portugal, e outras doze cidades com condições similares, Simões, Manaia e Simões [21] analisaram dispositivos de sombreamento, espessura da parede e tamanho de aberturas com operação sazonal e diária para um modelo de edifício, e indicaram que a PT com venezianas foi a combinação mais bem sucedida, resultando uma redução anual do consumo de energia para aquecimento de 31%. No Brasil, o estudo de Krüger, Suzuki e Matoski [24] indicou a possibilidade de aplicar o sistema na cidade de Curitiba. O estudo comparou duas células de teste (uma com PT e outra não) por meio de medições. Eles concluíram que o sistema não é eficiente no inverno subtropical, e que a posição do sol no verão contribuiu para evitar o superaquecimento na fachada norte nessa fase do ano.

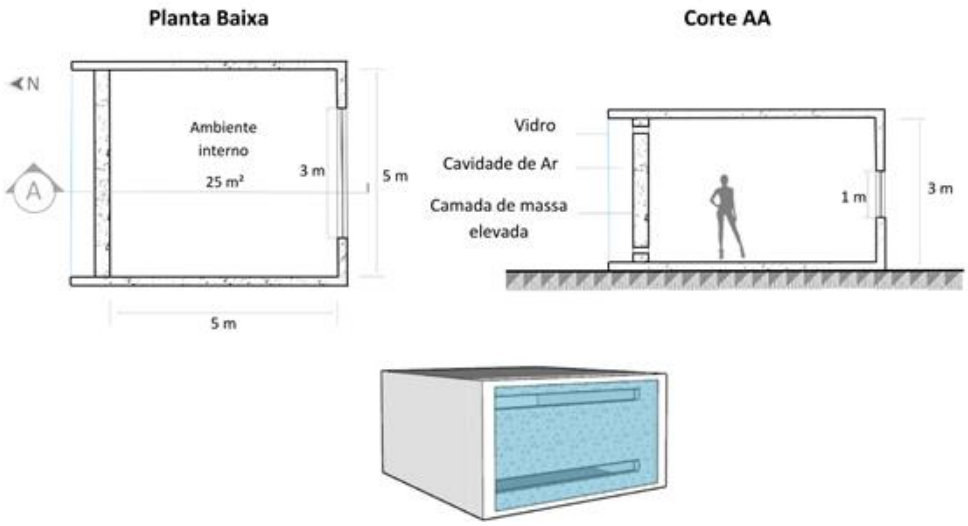
As publicações atuais sobre a PT têm focado em estudos localizados no hemisfério norte [20] [21] [9] [8] [22] [16] [19] [10]. Assim, ainda são poucos os estudos de PT desenvolvidos em países de climas mais amenos e quentes, como no Brasil. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo verificar o impacto de diferentes materiais (concreto, blocos de concreto vazados com argamassa e pedra basalto) aplicados na camada de elevada massa térmica de uma PT no desempenho térmico de um ambiente em períodos frios e quentes de duas zonas bioclimáticas amenas brasileiras (Juiz de Fora - ZB3 e Brasília - ZB4).

METODOLOGIA

O modelo de referência para este estudo consiste em uma célula teste com dimensões 5m x 5m x 3m (comprimento x largura x altura) que possui uma abertura na face sul total livre de 2 m² (Figura 2). A PT foi modelada em toda a superfície da parede orientada para a face norte. Em todos os casos testados, as configurações de materiais do ambiente foram idênticas, conforme Tabela 1, alterando somente os materiais da camada interna da PT. As paredes laterais e laje não possuem contato com outros ambientes construídos para evitar influências térmicas específicas.

As medidas da PT foram definidas a partir dos resultados de [29], que indica que a proporção ideal da espessura da cavidade é de cerca de 1/10 da altura da parede. Assim, para o modelo simulado neste estudo, a espessura da cavidade foi de 30 cm. Para a camada externa, foi utilizado vidro duplo de 6 mm. Foram testados três diferentes materiais: concreto, blocos de concreto vazados com argamassa e pedra basalto (Tabela 1).

Figura 2: Modelo do ambiente com Parede Trombe.



Fonte: autores.

Tabela 1: Transmitância térmica dos materiais testados na camada de elevada massa térmica.

	Material	Espessura [cm]	Transmitância térmica [Wm ^{2}K ^{1}]
Camada interna PT	Bloco de concreto vazado com argamassa	10	1.368
	Concreto	10	3,125
	Pedra Basalto	10	5,034
Camada de vidro PT	Vidro claro simples	6 mm	5,8
Demais paredes	Tijolo	15	0,9
	Argamassa	2	
Lajes	Concreto	10	3,1

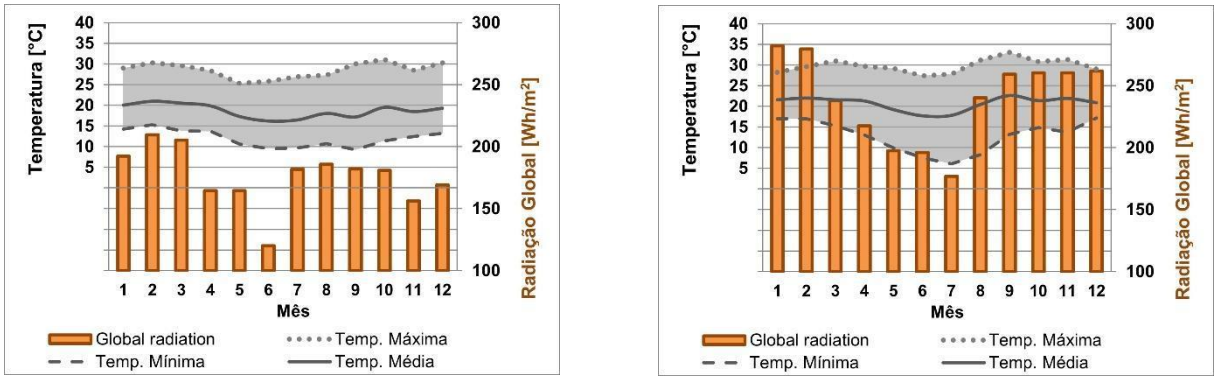
Fonte: autores.

A abertura da face sul foi configurada como aberta no período entre 8 e 18h para todo o ano. Já as aberturas na camada interna (respiradouros), que correspondem a 17,5% do total da superfície da camada interna da PT, estão 100% abertas o tempo todo.

Os casos foram modelados e simulados no software Design Builder 7.7.2.006. Para a avaliação de desempenho do sistema, os resultados são apresentados mostrando a temperatura do ar interna da edificação e o conforto térmico adaptativo em horas, baseado na ASHRAE 55 [30]. Os resultados foram comparados durante duas semanas de solstícios, uma de inverno e outra de verão, nos dias 15 a 21 de janeiro e julho, respectivamente. A escolha dos dias se justifica por uma intenção de avaliação mais pormenorizada dos dados, hora a hora. Os resultados do modelo com PT considerando os três materiais foram comparados a um ambiente sem PT.

As cidades avaliadas foram determinadas a partir das zonas bioclimáticas que necessitam de "aquecimento solar da edificação", de acordo com a NBR 15220-3 [31]. Assim, foram definidas as zonas bioclimáticas 3 e 4 (Figura 3). As cidades foram determinadas a partir dos seguintes parâmetros: 1. fossem distantes entre si, de maneira a explorar diferentes latitudes; 2. possuíssem arquivos climáticos; e 3. possuíssem características climáticas diferentes. Dessa forma, foram utilizados os arquivos climáticos das cidades de Juiz de Fora, MG (Lat.: 21° 45', Long.: 43° 20'), que é caracterizada por clima com verão e inverno bem definidos e Brasília, DF (Lat.: 15°47', Long.:47°56'), que é caracterizada por um clima árido com considerável variação de temperatura ao longo do dia (Figura 3). A temperatura do ar em Juiz de Fora (ZB3) durante o período de inverno considerado varia de 11°C a 24°C, enquanto em Brasília (ZB4) esses valores variam de 13°C a 25°C. Já na semana de verão simulada, Juiz de Fora possui temperaturas que vão de 15°C e 28°C; e Brasília possui mínima de 18°C e máxima de 30°C.

Figura 3: Média mensais de radiação global e temperatura do ar de (a) Juiz de Fora (ZB3) e (b) Brasília (ZB4).



(a) (b)

Fonte: os autores.

Este trabalho adota um modelo simplificado que considera influências térmicas externas e mantém a mesma configuração no verão e inverno. Não serão realizadas alterações nestas e nas demais características do modelo nos diferentes contextos simulados (verão/inverno, variação de latitude e material). Pois o objetivo do estudo é, justamente, verificar as potencialidades e fragilidades da PT em situações e materiais diversos como ponto de partida. Com os dados deste trabalho, novos estudos podem ser realizados para avaliar demais alterações físicas do modelo,

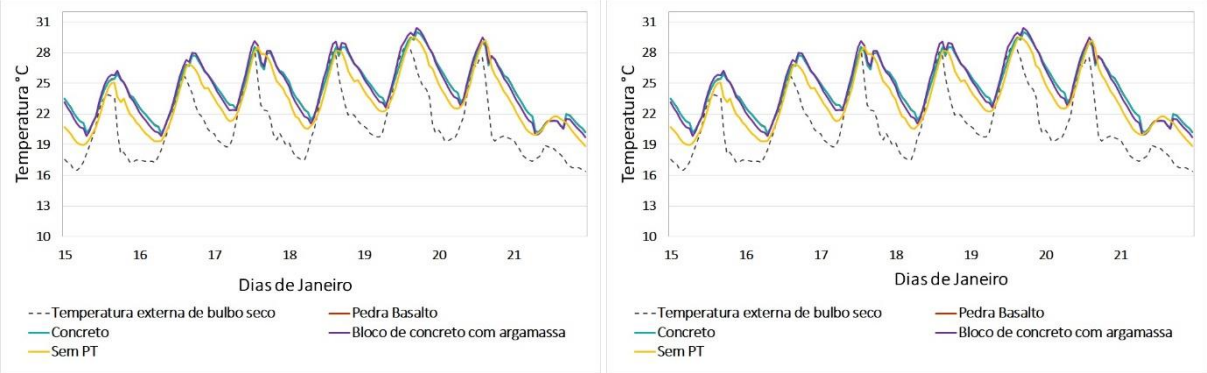
explorar as potencialidades e reduzir as fragilidades detectadas em cada contexto simulado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PERÍODO DE VERÃO

A Figura 4 (a) e (b) apresenta as temperaturas do ar do ambiente interno servido pela PT em janeiro (verão), nas cidades de Brasília e Juiz de Fora, respectivamente. Tanto no período de verão quanto no inverno, foi observado que, apesar das diferentes transmitâncias térmicas dos materiais considerados, as temperaturas do ar nos casos com PT são similares e cerca de 1,5°C e 5°C mais altas que o ar exterior durante o dia e a noite, respectivamente.

Figura 4: Temperaturas do ar dos modelos no período de verão para (a) Brasília e (b) Juiz de Fora.



(a) (b)

Fonte: os autores.

Apesar da variação inferior a 1 °C nas temperaturas entre os casos com PT, percebe-se que o modelo com bloco de concreto foi o que alcançou maiores temperaturas do ar interno. No dia com maior amplitude térmica, 19 de janeiro, a temperatura máxima do ar atingida na configuração com parede de bloco difere é maior em 1,0 °C em Brasília, e 0,8 °C em Juiz de Fora em relação às outras duas configurações de concreto e pedra. Em relação às temperaturas mínimas, o modelo com bloco de concreto e argamassa apresentou temperatura do ar 0,5°C inferior em comparação com os outros dois casos. Estes resultados são efeito da sua baixa transmitância térmica em comparação aos demais casos.

Em relação ao conforto térmico durante o período avaliado de verão, foi observado primeiramente que para os casos sem PT, a cidade de Juiz de Fora apresenta mais horas de desconforto por frio (32% do tempo) que Brasília (8% do tempo). Com a inserção da PT, os valores se tornaram mais similares entre as cidades (4% e 5% respectivamente). Isso indica que o sistema tem o potencial de balancear as discrepâncias térmicas, diminuindo os momentos de desconforto por frio, mesmo em modelos com respiradouros. Como consequência, as horas de calor aumentaram em até 24% em Juiz de Fora, confirmando a viabilidade de uso do sistema em

temperaturas baixas. Esse resultado pode ser devido à mais alta latitude de Juiz de Fora; como o sol está posicionado mais baixo na abóbada celeste que Brasília, os maiores ganhos de radiação solar podem ter contribuído para essa elevação dos momentos de calor. Esse resultado é condizente com o encontrado na China por Yang et al. [18] que verificaram um aquecimento no ambiente no verão, aumentando o consumo de energia em 25,2%. Como forma de mitigar o superaquecimento, Simões, Manaia e Simões [21] indicam o uso de elementos que promovam a ventilação e o sombreamento durante o verão.

Além disso, verificou-se diferenças em relação ao tipo do material empregado. O uso de concreto ou pedra basalto resultaram em 5% mais momentos confortáveis durante esse período do que o modelo com emprego de bloco de concreto em Juiz de Fora. Contudo, ressalta-se que a diferença do concreto em relação aos demais materiais foi pequena, de 1% e 4% comparativamente aos casos de pedra basalto e bloco de concreto com argamassa respectivamente, em Brasília.

Tabela 2: Percentual de conforto térmico para o verão.

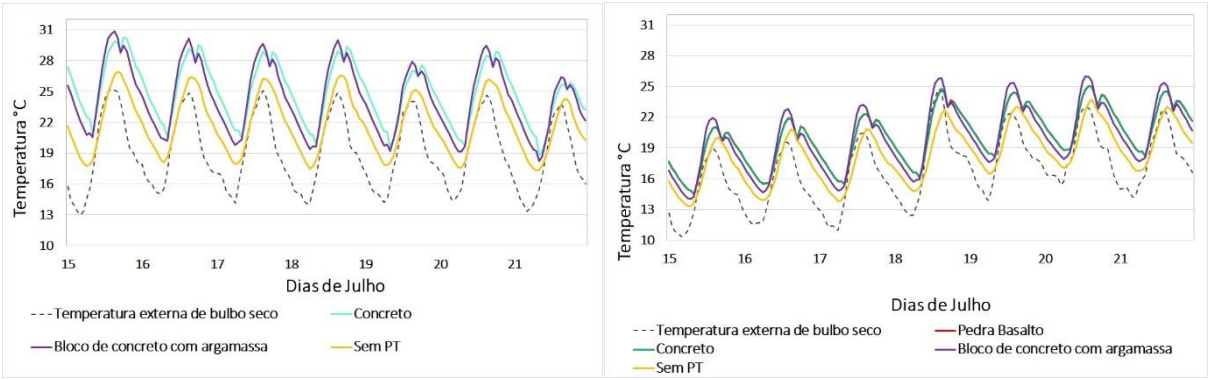
Ambiente		Sem Trombe	Concreto	Pedra	Bloco de concreto
Brasília	Frio	8%	5%	5%	8%
	Confortável	78%	78%	77%	74%
	Calor	14%	17%	18%	18%
Juiz de Fora	Frio	32%	5%	4%	14%
	Confortável	68%	72%	72%	67%
	Calor	0%	23%	24%	20%

Fonte: autores.

PERÍODO DE INVERNO

Durante o período de inverno (Figura 5), é possível observar que a temperatura do ar dos modelos com PT é maior que no caso referência (sem PT), essa diferença chega a ser até 3,4°C. Observou-se uma semelhança nos resultados entre os ambientes com paredes de concreto e pedra basalto, seguindo o padrão encontrado no verão. As diferenças de temperatura entre esses dois modelos, contudo, chegam a no máximo 0,2°C. Por outro lado, o modelo com parede composta por blocos de concreto com argamassa apresenta máximas diárias um pouco mais elevadas em comparação com as demais. Essa diferença chega a atingir até 1,85°C e 2°C em relação às configurações de parede com pedra basalto e concreto, respectivamente. O caso de bloco de concreto com argamassa possui mais elevada capacidade de absorção e transferência de calor, porém uma capacidade relativamente limitada de armazenamento desse calor. Como consequência, a parede, ao receber a energia térmica proveniente da radiação solar, imediatamente a transfere para o interior do ambiente, resultando no aumento da temperatura do ar.

Figura 5: Temperaturas do ar dos modelos no período de inverno para (a) Brasília e (b) Juiz de Fora.



(a) (b)

Fonte: os autores.

Entretanto, durante os momentos do dia de mais baixa temperatura, que geralmente ocorrem nas primeiras horas da madrugada e no início da manhã, a parede de bloco de concreto com argamassa alcança valores em média 0,8 °C inferiores em comparação com outros materiais. Isso se deve ao fato de que todo o calor absorvido pela parede durante o dia já ter sido transferido para o ambiente, não havendo reservas adicionais de calor para manter as temperaturas noturnas mais elevadas.

Tabela 3: Percentual de conforto térmico para o inverno.

Ambiente		Sem Trombe	Concreto	Pedra	Bloco de concreto
Brasília	Frio	17%	7%	4%	8%
	Confortável	70%	74%	76%	71%
	Calor	13%	19%	20%	21%
Juiz de Fora	Frio	56%	36%	36%	41%
	Confortável	44%	64%	64%	59%
	Calor	0%	0%	0%	0%

Fonte: autores.

A Tabela 3 apresenta a aceitabilidade térmica dos casos no inverno. Nas duas cidades consideradas houve um aumento do percentual de horas de conforto com a inserção de PT para todos os materiais empregados. Nesse período, a parede de pedra resulta no caso mais confortável em Brasília, atingindo 76% das horas e se iguala ao caso com pedra no conforto resultante em Juiz de Fora, atingindo 64% do tempo. Entretanto, em Brasília, foi observado um aumento das horas em calor em todos os casos testados. Isso indica o potencial de aquecimento do sistema no inverno para cidades com clima moderado a quente e a redução dos momentos de desconforto por frio em locais mais frescos, como Juiz de Fora.

É interessante observar que em Juiz de Fora, os modelos em concreto e pedra, embora apresentem transmitâncias térmicas diferentes, apresentaram comportamentos idênticos no período de inverno, aumentando as horas de conforto em 20%, diminuindo as horas de frio em 20%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo verificar o impacto de diferentes materiais (concreto, bloco de concreto com argamassa e pedra basalto) aplicados na camada interna de uma Parede Trombe (PT) no desempenho térmico de um ambiente em períodos frios e quentes em duas zonas bioclimáticas amenas brasileiras (ZB3 e ZB4). Os resultados indicam que o sistema de PT apresentou melhores resultados no período de inverno em Juiz de Fora, cidade mais fria e em mais alta latitude, pois reduziu a porcentagem das horas de frio, aumentou as horas de conforto. No verão, apesar de diminuir a porcentagem de horas desconfortáveis por frio, aumentou a quantidade de horas de calor.

Em relação aos materiais destaca-se que o bloco de concreto com argamassa apresentou alta variabilidade térmica com pouca retenção de calor, o que gerou as menores taxas de conforto em ambas as estações. O concreto e a pedra basalto, por outro lado, tiveram desempenho similares na retenção de calor e liberação no período noturno. Isso indica que a escolha de materiais com transmitância térmica acima de 3 $Wm^{-2}K^{-1}$ tem melhor potencial de manutenção de momentos mais confortáveis para cidades em climas amenos.

Uma importante limitação do trabalho se deve ao uso de um modelo com apenas um pavimento. A influência de ambientes adjacentes e cavidade de maiores alturas podem gerar diferentes resultados devido ao efeito chaminé, embora seja comum a implementação da PT em edificações baixas. Estudos que testem de forma comparativa o desempenho de PT com diferentes materiais na fachada envidraçada, aberturas na camada de vidro, dispositivos de sombreamento, e a aplicação do sistema em cidades de climas moderados em outras latitudes e até mesmo em outras Zonas Bioclimáticas brasileiras devem ainda ser considerados.

REFERÊNCIAS

[1] WANG, Dengjia. HU, Liang. DU, Hu. LIU, Yanfeng. HUANG, Jianxiang. XU, Yanchao. LIU, Jiaping. Classification, experimental assessment, modeling methods and evaluation metrics of Trombe walls. Renewable and Sustainable Energy Reviews. China, vol 124, Pag. 109772, 2020.KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. M. (Ed.). **Performative Architecture Beyond Instrumentality**. Nova Iorque: Spon Press, 2005.

[2] BEVILACQUA, P., BENEVENTO, F., BRUNO, R., & ARCURI, N. Are Trombe walls suitable passive systems for the reduction of the yearly building energy requirements?. Energy, v. 185, p. 554-566, 2019.

[3] GU, W.; LI, G., XIERMAIMAITI, A., & MA, T. A review of recent techniques in performance augmentation and evaluation metrics of Trombe walls. Energy and Buildings, 113693, 2023.LEWIN, R. **Complexity: life at the edge of chaos**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 2000.

[4] HAMI, K.; DRAOUI, B.; HAMI, O. The thermal performances of a solar wall. Energy, v. 39, n. 1, p. 11-16, 2012.

[5] RABANI, Mehran; KALANTAR, Vali; RABANI, Mehrdad. Passive cooling performance of a test room equipped with normal and new designed Trombe walls: A numerical approach. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 33, p. 69-82, 2019.

[6] RABANI, Mehran. Experimental comparison of energy and exergy analysis of a new designed and a Normal Trombe wall. Energy, v. 260, p. 125050, 2022.

[7] RABANI, Mehran; RABANI, Mehrdad. Heating performance enhancement of a new design trombe wall using rectangular thermal fin arrays: An experimental approach. Journal of Energy Storage, v. 24, p. 100796, 2019.

[8] LIN, Y.; Ji, J.; Zhou, F.; Ma, Y.; Luo, K.; e Lu, X. Experimental and numerical study on the performance of a built-middle PV Trombe wall system. **Energy and Buildings**, v. 200, p. 47-57, 2019.

[9] ABDULLAH, A. A.; ATALLAH, F. S.; AHMED, O. K.; e ALGUBURI, S. Effect of dusty weather on the performance of the PV/Trombe wall: Experimental assessment. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 39, p. 102419, 2022.

[10] XIAO, Lan; QIN, Liang-Liang; WU, Shuang-Ying. Proposal and application of comprehensive thermal comfort evaluation model in heating seasons for buildings with solar Trombe wall. **Applied Thermal Engineering**, v. 213, p. 118774, 2022.

[11] IRSHAD, K.; ALGARNI, S.; ISLAM, N.; REHMAN, S.; ZAHIR, M. H.; PASHA, A. A.; e PILLAI, S. N. Parametric analysis and optimization of a novel photovoltaic trombe wall system with venetian blinds: Experimental and computational study. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 34, p. 101958, 2022.

[12] HONG, Xiaoqiang; LEUNG, Michael KH; HE, Wei. Thermal behaviour of Trombe wall with venetian blind in summer and transition seasons. **Energy Procedia**, v. 158, p. 1059-1064, 2019.

[13] ISLAM, N.; IRSHAD, K.; ZAHIR, M. H.; e ISLAM, S. Numerical and experimental study on the performance of a Photovoltaic Trombe wall system with Venetian blinds. **Energy**, v. 218, p. 119542, 2021.

[14] LI, S., Zhu, N., Hu, P., Lei, F., e Deng, R. Numerical study on thermal performance of PCM Trombe Wall. **Energy Procedia**, v. 158, p. 2441-2447, 2019.

[15] LI, J., Zhang, Y., Zhu, Z., Zhu, J., Luo, J., Peng, F., e Sun, X. Thermal comfort in a building with Trombe wall integrated with phase change materials in hot summer and cold winter region without air conditioning. **Energy and Built Environment**, v. 5, n. 1, p. 58-69, 2024.

[16] ZHOU, Shiqiang; RAZAQPUR, A. Ghani. CFD modeling and experimental validation of the thermal performance of a novel dynamic PCM Trombe wall: Comparison with the companion static wall with and without PCM. **Applied Energy**, v. 353, p. 121985, 2024.

[17] SHEIKHOLESLAMI, M.; AL-HUSSEIN, Hazim RA. Modification of heat storage system involving Trombe wall in existence of paraffin enhanced with nanoparticles. **Journal of Energy Storage**, v. 58, p. 106419, 2023.

[18] YANG, L., Dhahad, H. A., Chen, M., Huang, Z., Anqi, A. E., Rajhi, A. A., & Qader, D. N. Transient analysis of buildings with Trombe wall in a southern envelope and strengthening efficacy by adding phase change material. **Journal of Building Engineering**, v. 55, p. 104670, 2022.

[19] ASKARI, Minoo; JAHANGIR, Mohammad H. Evaluation of thermal performance and energy efficiency of a Trombe wall improved with dual phase change materials. **Energy**, v. 284, p. 128587, 2023.

[20] ELAOUZY, Y.; EL FADAR, A. Impact of key bioclimatic design strategies on buildings' performance in dominant climates worldwide. **Energy for Sustainable Development**, v. 68, p. 532-549, 2022.

[21] SIMÕES, N.; MANAIA, M.; SIMÕES, I. Energy performance of solar and Trombe walls in Mediterranean climates. **Energy**, v. 234, p. 121197, 2021.

[22] ABDULLAH, A. A.; ATALLAH, F. S.; AHMED, O. K.; e DAOUD, R. W. Performance improvement of photovoltaic/Trombe wall by using phase change material: Experimental assessment. **Journal of Energy Storage**, v. 55, p. 105596, 2022.

[23] SANCHEZ, Patrick Facelli; HANCCO, Lisset Mercado. Trombe walls with porous medium insertion and their influence on thermal comfort in flats in Cusco, Peru. **Energy and Built Environment**, 2022.

[24] KRÜGER, Eduardo; SUZUKI, Eimi; MATOSKI, Adalberto. Evaluation of a Trombe wall system in a subtropical location. **Energy and Buildings**, v. 66, p. 364-372, 2013.

[25] CHARQUI, Z., EL MOUTAOUAKIL, L., BOUKENDIL, M., HIDKI, R., ZRIKEM, Z., e ABDELBAKI, A. Numerical simulation of turbulent coupled heat transfer in a Trombe wall subjected to periodic thermal excitations. **Energy and Buildings**, v. 278, p. 112631, 2023.

[26] ALQAED, Saeed; MUSTAFA, Jawed; SHARIFPUR, Mohsen. Numerical study of the placement and thickness of blocks equipped with phase change materials in a Trombe wall in a room-thermal performance prediction using ANN. **Engineering Analysis with Boundary Elements**, v. 141, p. 91-116, 2022.

[27] SAADATIAN, Omidreza. SOPIAN,K. LIM, C.H. ASIM, Nilofar. SULAIMAN, Meu. Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. Volume 16, Edição 8, Páginas 6340-6351, 2012.

[28] HOU, L., LIU, Y., LIU, T., YANG, L., FENG, Y., e GAO, Q. Dynamic heat preservation at night for a Trombe wall with a built-in panel curtain in Western China. **Solar Energy**, v. 213, p. 284-299, 2021.

[29] SERGEI, Kostikov; SHEN, Chao; JIANG, Yiqiang. A review of the current work potential of a trombe wall. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 130, p. 109947, 2020.

[30] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ANSI/ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2017.

[31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT 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.