

Avaliação de pontes térmicas em paredes de Light Steel Framing com placas de vermiculita por meio de análise numérica

Evaluation of thermal bridges in Light Steel Framing walls with vermiculite plates through numerical analysis

Janaina Costa Rezende^{1*}, Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco¹, Max de Castro Magalhães ¹

RESUMO

Apesar das vantagens oferecidas pelo sistema construtivo *Light Steel Framing* (LSF), é preciso buscar técnicas e soluções capazes de diminuir as pontes térmicas nos perfis metálicos e contribuir com o desempenho térmico no sistema. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é avaliar numericamente a contribuição de placas de vermiculita em associação a mantas de absorção térmica na redução do fluxo de calor em paredes do sistema LSF. Por meio do *software* comercial ANSYS, foi analisado o fluxo de calor e a temperatura média em paredes com materiais comumente utilizados no sistema LSF, com e sem placas de vermiculita. A análise foi feita inserindo uma fonte de calor constante a 80 °C de um lado da parede, durante 20 minutos. O estudo mostrou que a utilização desse material contribuiu com a redução do fluxo de calor médio nas paredes do sistema, bem como com a temperatura média atingida. O uso das placas de vermiculita é capaz de diminuir o consumo energético na edificação, contribuindo com uma construção mais sustentável, reduzindo o uso de aquecedor e/ou ar-condicionado.

Palavras-chave: Light steel framing; Modelagem numérica; Desempenho térmico; Placas de vermiculita.

ABSTRACT

Despite the advantages offered by the Light Steel Framing (LSF) constructive system, it is necessary to seek techniques and solutions capable of reducing thermal bridges in the metallic profiles and contributing to the thermal performance of the system. Thus, the objective of this research is to numerically evaluate the contribution of vermiculite boards in association with thermal absorption blankets in the reduction of heat flux in the walls of the LSF system. By means of the commercial software ANSYS, the heat flow and the average temperature were studied in walls with materials commonly used in the LSF system, with and without vermiculite boards. The analysis was performed by inserting a constant heat source at 80 °C on one side of the wall for 20 minutes. The study showed that the use of this material contributed to the reduction of the average heat flux in the walls of the system, as well as the average temperature reached. The use of vermiculite boards is able to reduce energy consumption in the building, contributing to more sustainable construction, and reducing the use of heaters and/or air conditioning.

Keywords: Light steel framing; Numerical modeling; Thermal performance; Vermiculite boards.

¹ Instituição de afiliação 1. Universidade Federal de Minas Gerais

*E-mail: janacrezende@gmail.com

INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das principais preocupações mundiais do setor da construção civil é a redução de consumo energético nas edificações. Para isso, são necessárias a tomada de algumas medidas, como foco em estratégias para diminuir o uso de ar condicionado e/ ou aquecedor nas edificações. Tais medidas garantem não só um ambiente mais sustentável, mas também um espaço com conforto térmico para o usuário. Logo, é possível associar diretamente a economia de energia com o desempenho térmico do edifício (ROQUE et al., 2021).

O Light Steel Framing (LSF) foi introduzido no Brasil na década de 1990 para a construção de residências. No entanto, o sistema foi importado dos Estados Unidos e algumas soluções de projeto foram desenvolvidas para aquele país. Dessa forma, ainda é necessário realizar algumas adaptações no LSF conforme as características físicas e ambientais do Brasil, para melhorar o desempenho térmico (GOMES, SOUZA E TRIBESS, 2013; MUZZI, SOUZA E GOMES, 2021). O LSF é um sistema de construção a seco composto por três subsistemas que formam as paredes e as lajes, são eles: perfis de aço moldados a frio; painéis de revestimento e; materiais absorventes termoacústicos (SOARES et al., 2019). O sistema oferece vantagens como peso reduzido e alta resistência mecânica. Além disso, o LSF permite a pré-fabricação da construção por meio de elementos modulares e, dessa forma, possibilita maior controle de qualidade, maior velocidade durante a montagem da edificação no local da construção e a estabilidade dimensional dos materiais durante a obra, bem como vantagens relacionadas diretamente ao meio ambiente, como a possível reciclagem do aço utilizado e a redução de entulho durante a construção. A taxa de reciclagem e reutilização do aço pode ultrapassar os 95%. Em relação aos impactos econômicos, a velocidade da construção é uma aliada a escala da produção, sem perder a qualidade. No caso de demolição, a desmontagem é rápida e simples, devido às conexões aparafusadas do sistema. Ademais, devido à leveza dos elementos construtivos e às técnicas de montagem, os acidentes de trabalho nos canteiros de obra são reduzidos nesse tipo de sistema construtivo (SANTOS, MARTINS E SILVA, 2014).

Contudo, apesar das vantagens, Santos, Martins e Silva (2014) ainda enumeraram algumas desvantagens do sistema, como as pontes térmicas causadas pela alta condutividade térmica do aço, que podem comprometer o desempenho térmico da

edificação e, conseqüentemente, a eficiência energética do sistema, se não forem corretamente tratadas por meio do envelopamento do edifício. Além disso, em regiões em que a umidade relativa do ar é elevada, podem ocorrer fenômenos de condensação, devido a queda de temperatura local, que ocorre no interior dos elementos construtivos. Já em locais em que o clima mediterrâneo é predominante, onde há grandes variações diárias de temperatura, a baixa inércia térmica do LSF pode gerar desconforto para os ocupantes e conseqüentemente, maior consumo energético, por meio de aquecedores e/ou aparelhos de resfriamento (ROQUE et al., 2022).

Em países do extremo norte, que apresentam temperaturas abaixo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, um dos principais motivos para a diminuição da proteção térmica é a infiltração do ar (KORNILOV E NIKIFOROV, 2018), ou seja, de acordo com Santos (2017), para que o projeto em LSF tenha uma eficiência energética, o clima, a envoltória do edifício e o comportamento dos ocupantes são fatores importantes a serem priorizados, para garantir o desempenho térmico da edificação. Apesar de algumas desvantagens, as construções em LSF tem potencial para fornecer conforto ao usuário e apresentar eficiência energética, assim como as construções feita em alvenaria (ROQUE, VICENTE E ALMEIDA, 2021). Alguns aspectos de seu desempenho funcional devem ser levados em consideração ainda na fase de projeto para que esses requisitos sejam atendidos de forma econômica, evitando pontes térmicas e, priorizando o envelopamento do edifício (ROQUE, SANTOS E PEREIRA, 2018). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição de placas de vermiculita em associação a mantas de absorção térmica na redução do fluxo de calor ocasionado principalmente devido às pontes térmicas do sistema LSF. O estudo foi feito por meio de uma análise numérica utilizando o *software* comercial ANSYS com placas de vermiculita como o absorvedor térmico no interior das paredes do sistema, um material pouco explorado pela indústria do LSF no Brasil.

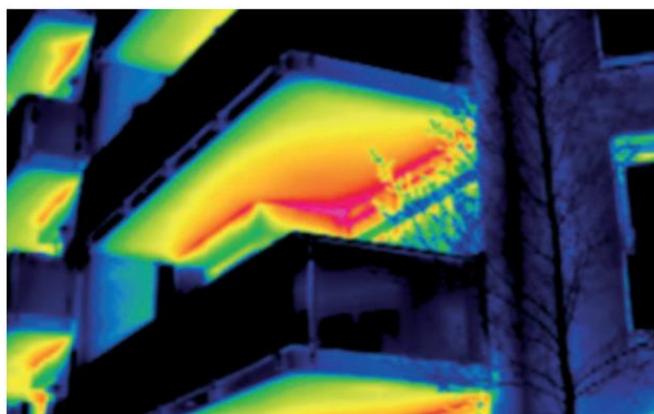
Pontes térmicas do sistema

O desempenho térmico de um edifício é fundamental para permitir conforto ao usuário e, conseqüentemente, contribuir para eficiência energética da edificação. No entanto, as pontes térmicas são responsáveis por grandes perdas de calor do ambiente, podendo levar à necessidade de utilização de aquecedor e/ou ar condicionado (WAY, LAWSON E SANSOM, 2016). Devido à leveza e a quantidade reduzida dos elementos

construtivos e ao elevado número de pontes térmicas, as construções em LSF apresentam uma baixa inércia térmica (ROSA, 2018). A inércia térmica é a tendência do material de resistir a mudanças de temperatura. Na prática, essa característica permite que os edifícios em LSF apresentem maiores flutuações de temperatura interna. Por isso, estratégias de exposição e sombreamento das aberturas dos edifícios, com o objetivo de controlar os ganhos de calor solar devem ser levados em consideração durante a fase de projeto (SANTOS, 2017).

Thermal bridges ou pontes térmicas é um termo usado para se referir a excessiva perda ou ganho de calor em determinados pontos da estrutura metálica do LSF. Este efeito reduz a resistência térmica dos painéis e aumenta os custos de energia para aquecimento e/ou resfriamento do edifício. Além disso, painéis verticais apresentam isolantes mais finos que os painéis horizontais do sistema, por isso os efeitos das pontes térmicas são maiores nas paredes (GOMES, SOUZA E TRIBESS, 2013). As pontes térmicas ocorrem principalmente nas interfaces entre paredes, pisos e telhados e onde há varandas e coberturas (Figura 1). Além disso, é estimado que as pontes térmicas são responsáveis por entre 20 % e 30% das perdas de calor por condução (WAY, LAWSON E SANSOM, 2016). Conforme Angelis e Serra (2013), a condutividade térmica dos materiais isolantes utilizados no sistema é cerca de 0,04 W/m.K, enquanto para os componentes feitos de aço é cerca de 1000-1500 vezes maior, 50 W/m.K, sendo os perfis de aço as pontes térmicas mais importantes, por isso elas devem ser levadas em consideração ainda na fase de projeto.

Figura 1 – Imagem térmica em uma varanda com temperatura mais elevada no encontro entre a parede e a laje.



Fonte: Way, Lawson e Sansom (2016).

Por meio de uma análise numérica, utilizando o método dos elementos finitos (MEF) no *software* comercial ANSYS, é possível equacionar diferentes soluções, como acústicas, térmicas e estruturais. Com o uso do MEF é gerada uma malha de elementos e nós conforme a geometria do elemento a ser analisado, simulando o comportamento do sistema original. A principal vantagem é a diversidade de possibilidades de uso. Após a validação da modelagem numérica por meio de ensaios experimentais é possível avaliar o sistema com diferentes materiais, dimensões e situações. Uma análise térmica no *software* ANSYS é capaz de determinar a distribuição de temperatura, a capacidade térmica, o fluxo térmico, a quantidade de calor ganho ou perdido, entre outros, que podem ser avaliados em um sistema ou em um componente (ANSYS, 2013).

Na pesquisa realizada por Muzzi, Souza e Gomes (2021), foi realizada uma comparação entre os métodos simplificados de cálculo da resistência térmica e transmitância térmica com uma abordagem numérica, utilizando o *software* ANSYS em paredes do sistema LSF. Para a realização do estudo, foi considerada uma parede típica brasileira em LSF, composta por placa cimentícia de 10 mm de espessura na vedação externa, placa de gesso de 12,5 mm de espessura na parede interna, lâ de vidro de 50 mm de espessura e 40 mm de espessura de ar como isolante termoacústico e perfis do tipo “U” enrijecido de 0,95 mm de espessura. O resultado mostrou uma diferença de 9% entre o método de cálculo simplificado e a modelagem numérica para a resistência térmica e 8% para o fluxo de calor e transmitância térmica. Os autores concluíram também que onde havia perfis de aço, o fluxo de calor foi 54% maior em relação às regiões em que não havia o perfil metálico. Os dois métodos mostraram-se confiáveis, no entanto a modelagem numérica apresenta infinitas possibilidades de uso, como a distribuição do fluxo de calor nas paredes.

Major e Kosin (2017) utilizaram o *software* ANSYS para analisar a distribuição do fluxo de calor ocasionadas pelas pontes térmicas em paredes de LSF. Os autores compararam paredes com perfis térmicos especiais (alma perfurada) e paredes com perfis comuns. No entanto, a análise numérica não revelou um efeito significativo na melhoria das propriedades de desempenho térmico da parede por meio da utilização de perfis especiais, houve uma redução de apenas 3% no fluxo de calor.

Santos e Poologanathan (2021) avaliaram a influência do tamanho, espessura e forma da mesa dos perfis metálicos nas paredes de LSF. Para isso, os autores realizaram ensaios numéricos utilizando o *software* ANSYS e o THERM (2D) e validaram as

modelagens numéricas por meio de ensaios experimentais. Os autores concluíram que perfis com mesas e espessuras maiores apresentaram menores valores quanto a resistência térmica, devido à maior superfície de contato que contribuem com as pontes térmicas. Quanto à forma da alma, uma pequena variação na seção do perfil, recuando entre 2,5 mm e 5 mm uma parte da mesa, foi suficiente para proporcionar um aumento significativo do valor da transmitância térmica e conseqüentemente reduzir a transmissão de calor. Segundo os autores, os resultados encontrados para a resistência térmica nos diferentes tipos de ensaios (numérico e experimental) apresentaram valores muito semelhantes.

Atualmente, a ligação entre a queima de combustíveis fósseis e a liberação de dióxido de carbono no meio ambiente com o aquecimento global e com eventos climáticos extremos é indiscutível. Dessa forma, a utilização de fontes renováveis de energia e a redução do consumo energético em novos edifícios são duas grandes prioridades em todo o mundo. Além disso, a possibilidade de reaproveitamento e reciclagem dos elementos que compõem o LSF colaboram para a sustentabilidade da edificação (SANTOS, 2017).

Vermiculita

A vermiculita é um mineral com propriedade termoacústica que se assemelha a mica e pertence a um grupo de minerais denominado silicato de alumínio-ferro-magnésio. Ela apresenta baixa densidade e em altas temperaturas, se expande, criando espaços vazios entre as lamelas de vermiculita, o que o configura como um material que contribui com o desempenho térmico, em sua forma solta apresenta uma condutividade térmica em temperatura ambiente de 0,06 (W/m.K) e pode ser aplicada em forros, saunas, assoalhos e coberturas de fornos e estufas, devido ao seu elevado ponto de ebulição (FRANÇA et al., 2016).

Além de ser comercializada em sua forma solta, a vermiculita expandida também pode ser fabricada em formato de placas, contendo ligantes inorgânicos prensados. Como placas, são comumente utilizadas em miolos de portas corta-fogo e resistem a temperaturas contínuas de até 800 °C. As placas apresentam uma porosidade no valor de 84% e densidade de 2650 Kg/m³ (CALDESUL, 2022).

A vermiculita é um material reciclável, autoextinguível, não nocivo ao meio ambiente e ao ser humano, insolúvel em água e em outros solventes orgânicos e apresenta

estabilidade química no decorrer do tempo. O mineral apresenta um preço acessível, podendo gerar vantagens comerciais e concorrência com outros materiais mais utilizados no país, como a lã de vidro e lã de rocha (CARBAJO et al., 2015). O uso de placas de vermiculita expandida é um material pouco explorado pelo mercado do LSF e pode permitir a utilização de diferentes materiais térmicos, diversificando esse mercado.

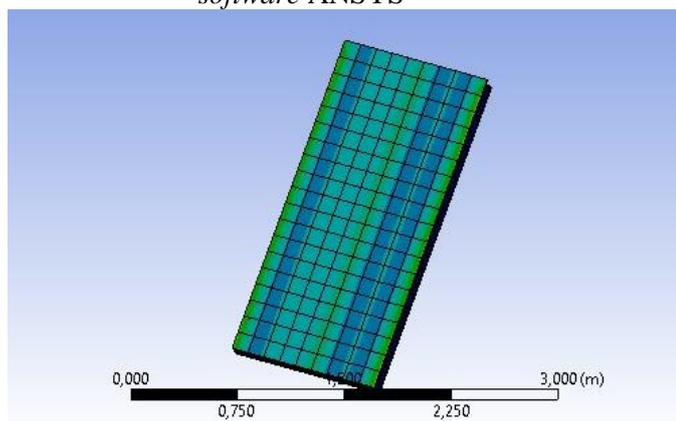
MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios numéricos utilizando o *software* ANSYS foram realizados utilizando materiais comumente empregados nas paredes brasileiras feitas em LSF e para a absorção térmica, foram utilizadas placas de vermiculita no interior das paredes junto à manta de lã de PET. A placa de vermiculita utilizada no *software* apresentou densidade de 360 Kg/m³, espessura de 24 mm e dimensões de 300 mm por 600 mm e a manta de lã de PET apresentou densidade de 7 Kg/m³ e espessura de 30 mm, largura 1200 mm e 10 m comprimento.

Além dos materiais absorventes térmicos, foram inseridas características: da placa cimentícia de 10 mm de espessura e dimensões de 2,40 m por 1,20 m; da placa OSB de 11,1 mm de espessura e dimensões de 1200 mm por 2400 mm na parte externa da parede e na parte interna, as dimensões da placa de OSB foi de 1200 mm por 2400 mm e espessura de 9,5 mm; da placa de gesso acartonado de espessura de 12,5 mm e dimensões de 1200 mm por 2400 mm; dos perfis metálicos de dimensões de 90 mm por 3000 mm e espessura do aço de 0,95 mm, sendo o aço galvanizado formado a frio e revestido de alumínio e zinco.

No *software* ANSYS foram incorporadas as propriedades físicas e mecânicas dos componentes das paredes de LSF. Logo, um modelo geométrico foi feito para a inserção da malha de elementos finitos, quanto mais densa a malha, maior é o refinamento do resultado. A malha apresentou 11716 nós e 1566 elementos quadriláteros (Figura 2).

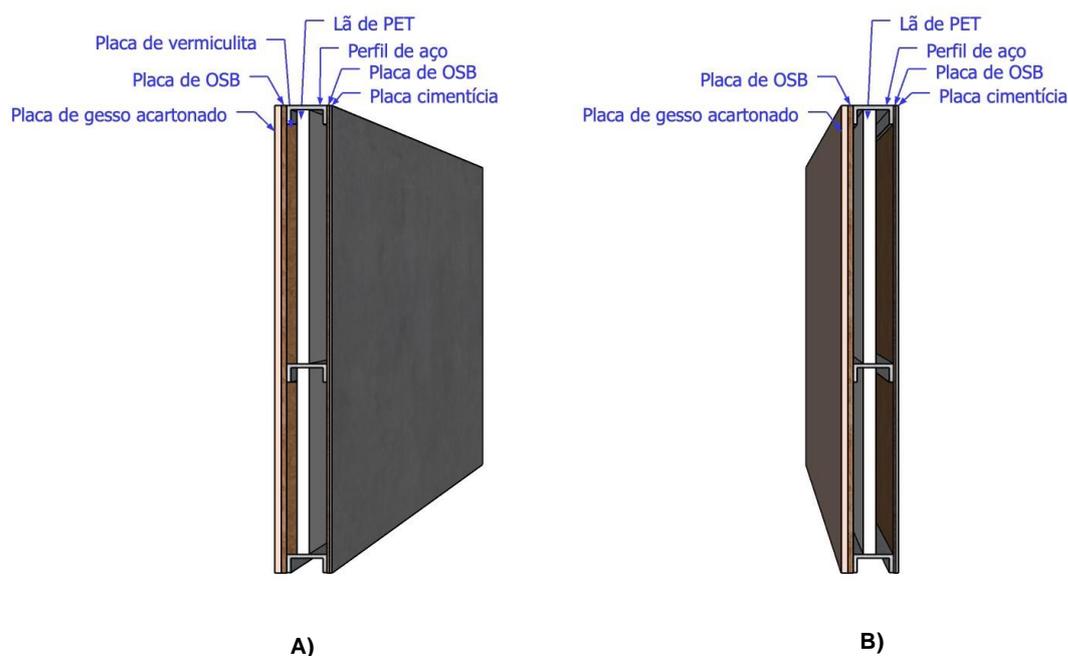
Figura 2 – Malha geométrica de elementos finitos na parede de LSF analisada no *software ANSYS*



Fonte: Autores (2022).

Após a definição da malha, a ferramenta *thermal transient* foi aplicada com as seguintes condições de contorno, um fluxo constante de calor de 80 °C e temperatura inicial: 25 °C, durante um tempo de 1200 segundos (20 minutos). Dessa forma, foi possível realizar a comparação do fluxo de calor da parede com a placa de vermiculita (Figura 3A) e sem a presença do material no interior do sistema (Figura 3B).

Figura 3 – Paredes em LSF analisadas no *software ANSYS*. A) Parede com placa de vermiculita; B) Parede sem placa de vermiculita

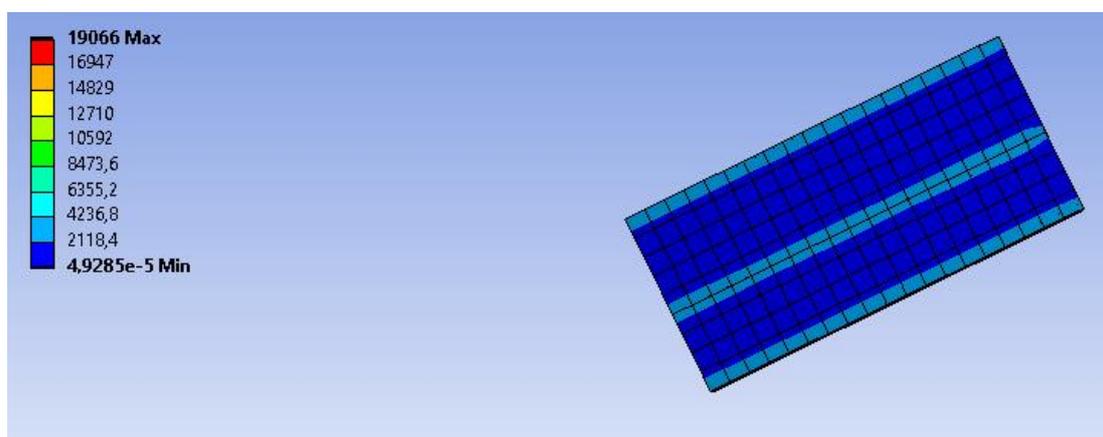


Fonte: Autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As pontes térmicas que acontecem devido aos perfis metálicos podem ser vistas na Figura 4, que puderam ser observadas durante a utilização do *software* ANSYS. As regiões em que estão os perfis apresentaram maior fluxo de calor e temperatura mais alta em relação às regiões em que estão as placas de fechamento do sistema e os materiais absorventes.

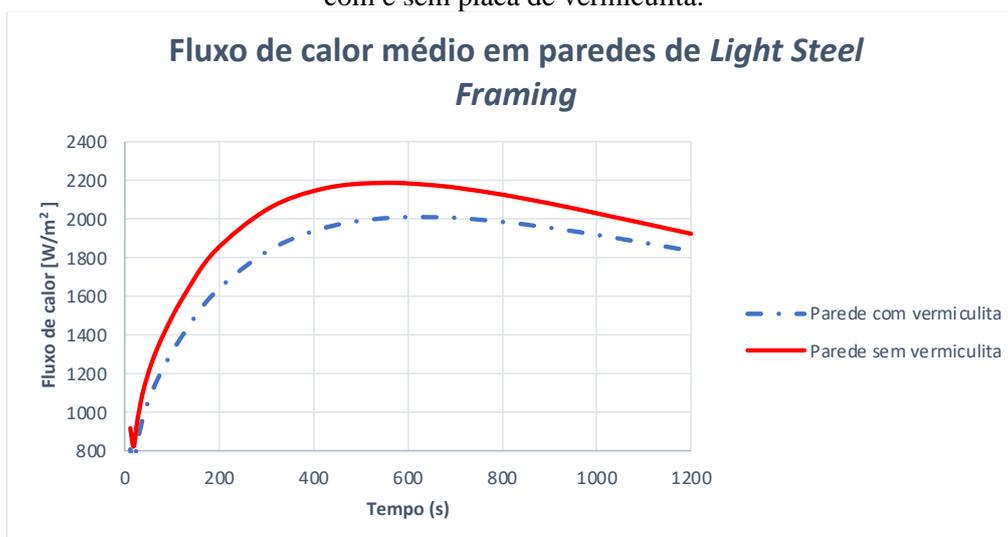
Figura 4 – Fluxo de calor maior na região dos perfis metálicos



Fonte: Autores (2022).

Ademais, a partir dos ensaios numéricos realizados foi possível perceber que a presença das placas de vermiculita nas paredes de LSF diminuiu o fluxo de calor, conforme mostra a Figura 5. A curva média da parede com placa de vermiculita apresentou um pico de fluxo de calor de $2013,8 \text{ W/m}^2$ em 11 minutos (660 segundos), enquanto a parede sem a placa de vermiculita apresentou um fluxo de calor máximo de $2187,1 \text{ W/m}^2$, em 9 minutos (545 segundos), 7,9% maior que o ensaio utilizando o material.

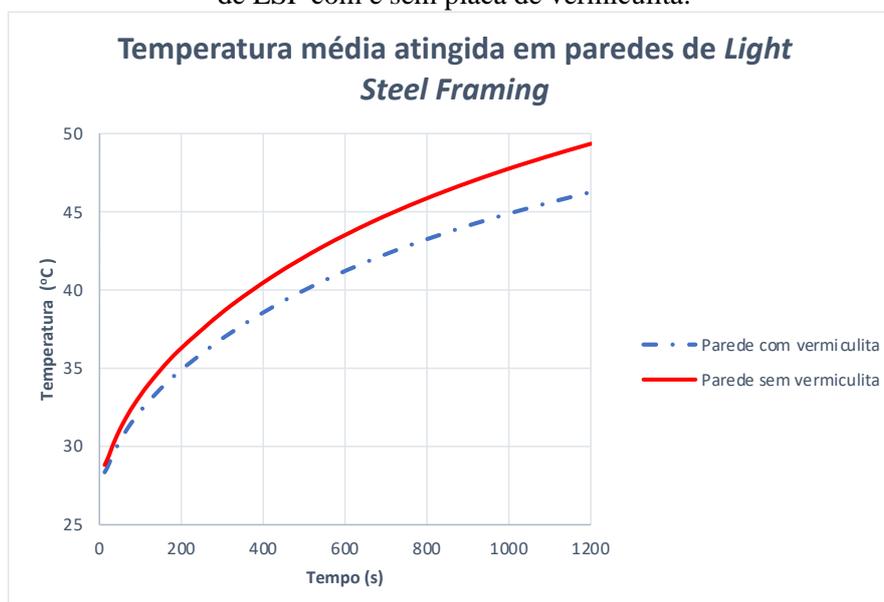
Figura 5 – Comparação realizada no *software* ANSYS do fluxo de calor em paredes de LSF com e sem placa de vermiculita.



Fonte: Autores (2022).

Após 20 minutos (1200 segundos), a parede com placa de vermiculita apresentou uma temperatura média de 46,26 °C, já as paredes sem a placa de vermiculita obtiveram uma temperatura média de 49,36 °C. A diferença da média entre as temperaturas das duas paredes foi de 3,1 °C, 6,69%, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 – Comparação realizada no *software* ANSYS da temperatura média entre as paredes de LSF com e sem placa de vermiculita.



Fonte: Autores (2022).

CONCLUSÃO

A utilização de placas de vermiculita em paredes de LSF junto a lãs absorventes mostrou-se eficiente no desempenho térmico do sistema, contribuindo com a redução das pontes térmicas nos perfis metálicos e, conseqüentemente, com o fluxo de calor e a temperatura do sistema. O uso de placas de vermiculita nas paredes de LSF colabora com uma construção mais sustentável, focando em uma menor demanda energética e econômica, diminuindo o uso de ar condicionado e/ou aquecedores nas edificações.

REFERÊNCIAS

ANGELIS, E.; SERRA, E. Light Steel-frame Walls: Thermal Insulation Performances and Thermal Bridges. **Energy Procedia**. Oxford, v. 45, p. 362-371, 2014.

ANSYS. **ANSYS Mechanical APDL Basic Analysis Guide**. Release 15.0. ANSYS Inc., Canonsburg, 2013.

CALDESUL. **Placas de vermiculita**, 2022. Disponível em: <<https://loja.caldesul.com.br/produtos/placas-de-vermiculita/>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

CARBAJO, J. *et al.* Acoustic properties of porous concrete made from arlite and vermiculite lightweight aggregates. **Materiales de Construcción**, [S. l.], v. 65, n. 320, 2015. DOI: 10.3989/mc.2015.01115. Disponível em: <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1973>. Acesso em: 29 abr. 2022.

FRANÇA, S. C. A. *et al.* Vermiculita, mais que um mineral termoacústico. *In: V SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE*. **Anais [...]**. João Pessoa, 2016.

GOMES, A. P., SOUZA, H.A., TRIBESS, A. Impact of thermal bridging on the performance of buildings using Light Steel Framing in Brazil. **Applied Thermal Engineering**. Oxford, v. 52, p.84-89, 2013.

KORNILOV, T. A.; NIKIFOROV, A.Y. Thermal protection of low-rise buildings from light steel thin-walled structures. **Magazine of Civil Engineering**. Saint Petersburg, p. 140–149, 2018.

MAJOR, M.; KOSIN, M. Numerical thermal analysis of the vertical external partition made as the frame thin-walled steel structure. **MATEC Web of Conferences**, 2017.

MUZZI, T. A.; SOUZA, H. A.; GOMES, A. P. Heat transfer analysis of the vertical closing system in light steel framing using the isothermal planes method and finite element method. **REM - International Engineering Journal**, v. 74, n. 4, p. 425-431, 2021.

ROQUE, E. *et al.* Energy consumption in intermittently heated residential buildings: Light Steel Framing vs hollow brick masonry constructive system. **Journal of Building Engineering**, v. 43, 2021.

ROQUE, E. *et al.* The Impact of Thermal Inertia on the Indoor Thermal Environment of Light Steel Framing Constructions. **Energies**, v. 15, n.9, 2022.

ROQUE E., SANTOS P., PEREIRA, A. Thermal and Sound Insulation of Lightweight Steel Framed Façade Walls. **Science and technology for the Built Environment**. Georgia, v.25, n. 2, p. 156-176, 2018.

ROQUE, E.; VICENTE, R.; ALMEIDA, R. M. S. F. Opportunities of Light Steel Framing towards thermal comfort in southern European climates: Long-term monitoring and comparison with the heavyweight construction, **Building and Environment**, v. 200, 2021.

ROSA, N. C. F. **Study of Structural and thermal performance of light weight steel framing (LSF) modular construction**. Tese (PhD thesis in Steel and Composite Construction) - Faculty of Sciences and Technology University of Coimbra, Coimbra, 2018.

SANTOS, P. Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings, **Energy Efficient Buildings**, London, 2017.

SANTOS, P.; MARTINS, C.; SILVA, L. S. Thermal performance of lightweight steel-framed construction systems. **Metallurgical Research & Technology**. Cambridge University Press, Cambridge, v. 111, n. 6, p. 329-338, set. 2014.

SANTOS, P.; POOLOGANATHAN, K. The Importance of Stud Flanges Size and Shape on the Thermal Performance of Lightweight Steel Framed Walls. **Sustainability**, v.13, n,7, 2021.

SOARES, N. *et al.* Laboratory and in-situ non-destructive methods to evaluate the thermal transmittance and behavior of walls, windows, and construction elements with innovative materials: A review. **Energy and Buildings**, v. 182, p. 88-110, 2019.

WAY, A. G. J; LAWSON, R. M. SANSOM, M.R. **Thermal Bridging in Steel Construction**. Ascot: The Steel Construction Institute - SCI publication, 2016.

Recebido em: 01/10/2022

Aprovado em: 03/11/2022

Publicado em: 06/11/2022