



DESEMPENHO DE TIRAS DE CORTE TÉRMICO EM PAREDES COM ESTRUTURA METÁLICA LEVE (LSF)

Telmo Ribeiro^a, Paulo Santos^a e Diogo Mateus^a

^a *ISISE, Department of Civil Engineering, University of Coimbra, Polo II, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal.*

Resumo. Na presente comunicação é avaliada, de forma experimental e por simulação numérica, a melhoria do desempenho térmico de paredes divisórias em LSF (“*Lightweight Steel Frame*”) devido à aplicação de tiras de corte térmico. Foram considerados três materiais (borracha reciclada, poliestireno extrudado e aerogel) e as tiras foram aplicadas em três configurações (banzo interior, banzo exterior e em ambos os banzos). Tal como esperado, o material que proporcionou o melhor desempenho térmico foi o aerogel, enquanto que a borracha apresentou os piores resultados. Tendo em conta a posição das tiras de corte térmico nos perfis metálicos, verificou-se que a sua aplicação em ambos os banzos origina um desempenho superior.

1. Introdução

O conforto térmico e a eficiência energética nos edifícios são fortemente influenciados pelas características da envolvente. No que respeita às paredes em LSF, a elevada condutibilidade térmica dos perfis de aço pode conduzir a pontes térmicas significativas, que devem ser previstas e tratadas adequadamente. Uma das estratégias de mitigação destas pontes térmicas mais utilizada na construção em LSF é a aplicação de tiras de corte térmico (CT) ao longo dos banzos dos perfis metálicos, sendo este o foco principal do projeto de investigação *Tyre4BuildIns – “Recycled tyre rubber resin-bonded for building insulation systems towards energy efficiency”* [1]. As tiras de CT são constituídas, geralmente, por materiais de isolamento térmico, e permitem aumentar a resistência térmica das paredes em LSF através da redução das perdas de calor que ocorrem devido às pontes térmicas originadas pelos perfis metálicos [2]. Atualmente, encontram-se disponíveis diversos materiais adequados para tiras de CT, sendo que alguns são

especialmente desenvolvidos para esta função, enquanto que outros podem ser facilmente adaptados para este tipo de uso.

Neste trabalho pretende-se avaliar o desempenho de tiras de CT na mitigação do efeito das pontes térmicas provocadas pelos perfis de aço. Para o efeito, foi medido em condições laboratoriais controladas o valor da resistência térmica face-a-face (R) de dez configurações de paredes interiores em LSF. Uma das paredes consideradas é utilizada como referência, devido ao facto de não ter sido aplicada qualquer tira de CT, enquanto que as restantes configurações incluem tiras de CT. Para a realização dos ensaios experimentais utilizou-se uma *mini hot box* constituída por duas câmaras climáticas. O desempenho térmico das paredes em LSF foi medido usando o Método do Termofluxímetros [3]. Para cada configuração de parede, realizaram-se três ensaios correspondentes a três posições em altura dos sensores nas superfícies das paredes testadas (cima, meio e baixo), totalizando 30 ensaios laboratoriais. Foram utilizados três materiais constituintes das tiras de CT, nomeadamente: i) borracha reciclada (MS-R1); poliestireno extrudado (XPS), e; iii) aerogel (AG). Foram consideradas três configurações diferentes relativamente à localização das tiras de CT na parede em LSF: i) ao longo do banzo interior; ii) ao longo do banzo exterior, e; iii) ao longo de ambos os banzos. Adicionalmente, com o intuito de realizar uma verificação dos valores experimentais, todos os resultados obtidos em termos de resistência térmica face-a-face, para cada parede em análise, foram comparados com simulações numéricas bidimensionais baseadas no método dos elementos finitos.

2. Materiais e métodos

2.1 Caracterização das paredes em LSF

Esta secção tem como objetivo principal realizar uma caracterização da parede de referência e das tiras de CT em termos de materiais, geometria, dimensões e propriedades térmicas.

A secção transversal da parede em LSF de referência encontra-se ilustrada na Fig. 1. Os perfis verticais (C90 x 37 x 15 x 0.6 mm) apresentam um espaçamento de 400 mm e uma espessura da chapa de aço igual a 0.6 mm. A caixa-de-ar possui uma espessura de 90 mm, sendo preenchida totalmente com lã mineral (LM). As superfícies de revestimento são constituídas por duas placas de gesso cartonado (GC), em cada lado da parede, apresentando cada placa uma espessura igual a 12.5 mm.

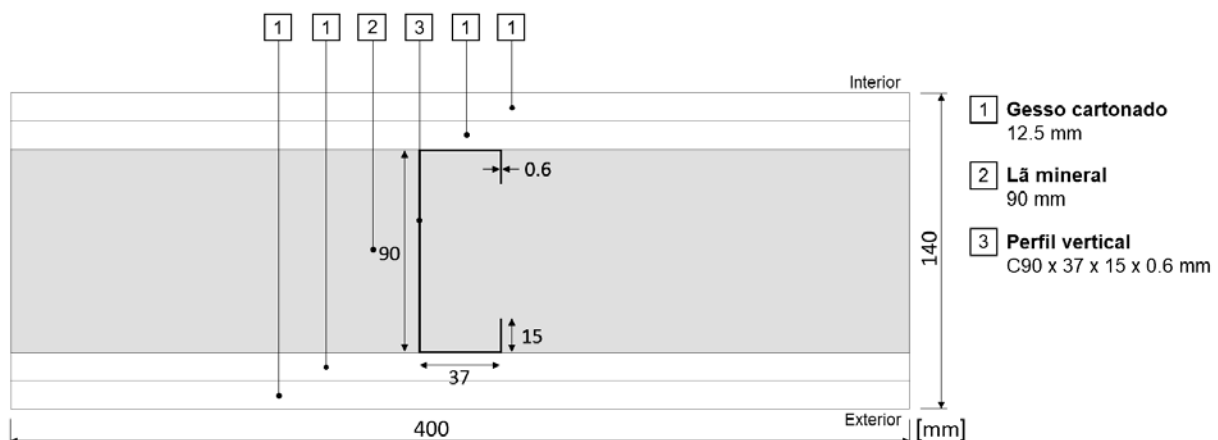


Fig. 1: Secção transversal horizontal da parede de referência em LSF

Na Tabela 1 são indicados os valores da espessura e do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais utilizados na parede em LSF de referência.

Tabela 1: Espessura e coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais [4]

Material	<i>d</i> [mm]	λ [W/(m·K)]
Gesso cartonado ¹ (2 x 12.5 mm)	25	0.175
Lã mineral ²	90	0.035
Perfil de aço ³ (C90 x 37 x 15 x 0.6 mm)	---	50.000
Gesso cartonado ¹ (2 x 12.5 mm)	25	0.175
Espessura total	140	---

¹ Standard A: Gyptec Ibérica; ² AlphaRolo: Volcalis; ³ Pertecno.

As tiras de CT utilizadas possuem 50 mm de largura e 10 mm de altura, sendo constituídas por três materiais distintos (Fig. 2): i) borracha reciclada (MS-R1), ii) poliestireno extrudido (XPS), e; iii) aerogel (AG). Os valores do coeficiente de condutibilidade térmica dos materiais utilizados nas tiras de CT são apresentados na Tabela 2. Adicionalmente, as três configurações consideradas para a localização das tiras de CT estão ilustradas na Fig. 3.

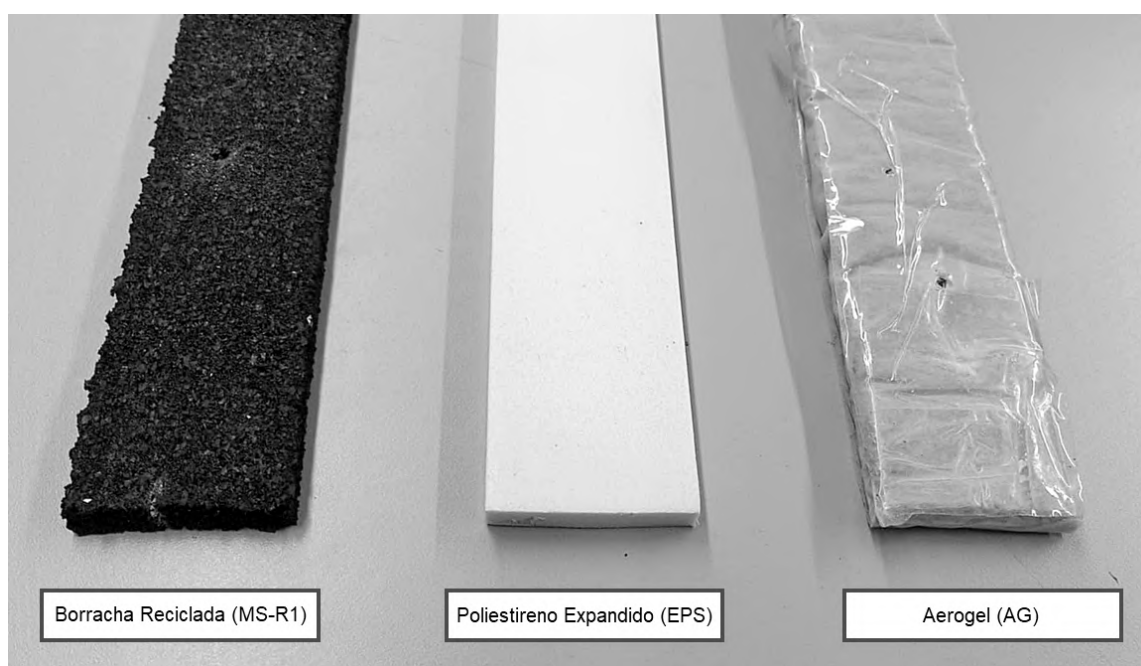


Fig. 2: Materiais das tiras de corte térmico

Tabela 2: Materiais e coeficientes de condutibilidade térmica (λ) das tiras de corte térmico [2]

Material (abreviatura)	λ [W/(m·k)]
Borracha reciclada (MS-R1)	0.122
Poliestireno extrudido (XPS)	0.034
Aerogel (AG)	0.015

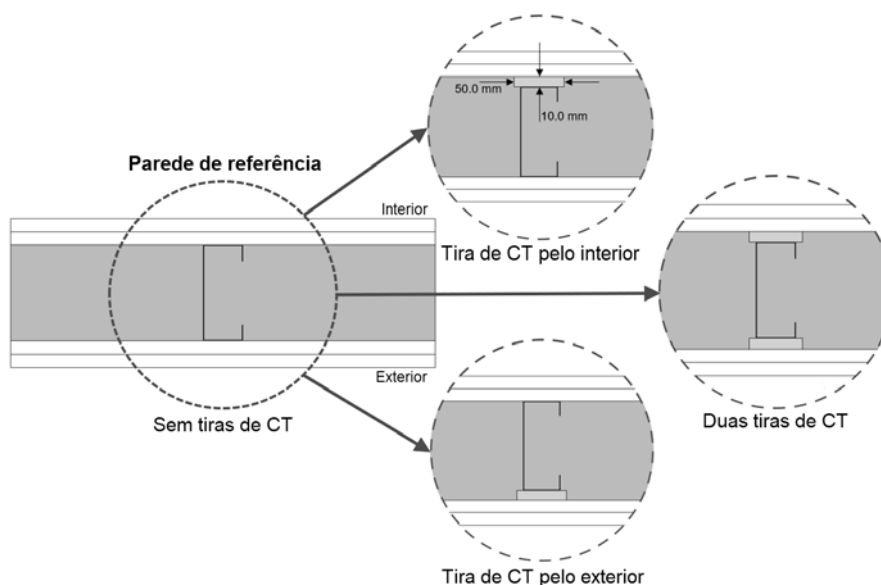


Fig. 3: Localização das tiras de corte térmico

2.2 Ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais foram realizados com recurso a uma *mini hot box*, na qual a amostra da parede em LSF é colocada entre duas câmaras climáticas (câmara quente e câmara fria) (Fig. 4a). Os provetes de parede utilizados nas medições experimentais (Fig. 4b) apresentam uma altura de 1030 mm e uma largura de 1060 mm, e são compostos por três perfis de aço verticais espaçados de 400 mm, estando o perfil do meio centrado. O desempenho térmico das amostras foi medido através da aplicação do Método dos Termofluxímetros [3], adaptado para a realização da medição simultânea em ambas as superfícies da parede [5]. A implementação desta adaptação tem o intuito de aumentar a precisão dos resultados e diminuir a duração dos ensaios.

A medição do fluxo de calor através da parede em LSF foi realizada utilizando quatro termofluxímetros (TFs), dois na superfície quente (também designado neste artigo de lado interior) e os outros dois na superfície fria do provete (também designado neste artigo de lado exterior). De forma a realizar a medição nas duas zonas da parede em LSF com comportamento térmico distinto, foram aplicados TFs em ambas as superfícies (Fig. 4b): um TF foi aplicado na zona do perfil vertical central (TF1) e o outro TF foi aplicado na zona da caixa-de-ar, a meia distância entre perfis (TF2).

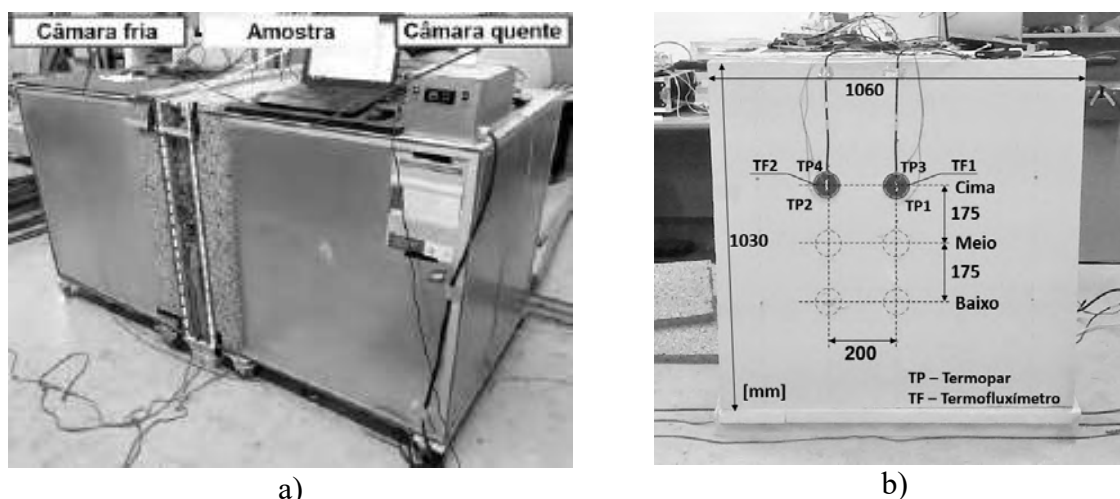


Fig. 4: Ensaios laboratoriais: a) *mini hot box*; b) provete de parede em LSF

As medições de temperatura foram realizadas recorrendo a 12 termopares (TPs) do tipo K, isolados com PFA, sendo 6 deles instalados no lado quente e os outros 6 no lado frio. Em cada lado (quente e frio), foi adotada a seguinte configuração de termopares: dois mediram a temperatura na superfície da parede (TP1 e TP2), outros dois mediram a temperatura próximo da superfície da parede (TP3 e TP4), e os restantes dois mediram a temperatura do ambiente no interior da câmara climática (TP5 e TP6). As câmaras climáticas quente e fria foram programadas para manter uma temperatura próxima dos 40 °C e 5 °C, respetivamente, tendo as medições sido realizadas num regime de transferência de calor quase permanente. De forma a promover a circulação do ar e minimizar a probabilidade de estratificação da temperatura do mesmo, foram instaladas pequenas ventoinhas no interior das câmaras climáticas. Para além disso, em cada lado da amostra de parede em LSF foi aplicado um escudo de radiação negro.

Com o intuito de assegurar a repetibilidade dos ensaios experimentais, para cada parede, foram realizados três ensaios, correspondentes a três posições distintas dos sensores: em cima, no meio e em baixo (Fig. 4b). A resistência térmica face-a-face de cada parede foi obtida calculando o valor médio das resistências térmicas medidas em cada uma destas três posições.

2.3 Simulações numéricas

As simulações numéricas bidimensionais das paredes em LSF foram realizadas recorrendo ao programa de elementos finitos THERM® (versão 7.6.1). Tratando-se de uma simulação numérica em 2D, os modelos construídos consideram apenas uma parte representativa da secção transversal da parede em LSF (400 mm de comprimento), tal como ilustrado anteriormente na Fig. 1 para a parede de referência. As propriedades dos materiais utilizados nos modelos elaborados estão apresentadas na Tabela 1 e Tabela 2.

Relativamente às condições de fronteira dos modelos, foram definidos dois dados relevantes: i) a temperatura do ar no ambiente envolvente, e; ii) as resistências térmicas superficiais. As temperaturas do ar nos ambientes quente e frio foram definidas em concordância com os valores de temperatura medidos nos ensaios laboratoriais, i.e., 40 °C no ambiente quente e 5 °C no ambiente frio. Adicionalmente, de forma a simular um fluxo unidirecional, as fronteiras paralelas ao fluxo de calor foram definidas como adiabáticas. As resistências térmicas superficiais modeladas correspondem aos valores médios medidos em cada ensaio e em cada superfície da parede, tendo em conta a diferença entre as temperaturas registadas no ar junto à superfície e as temperaturas superficiais medidas nos provetes de parede.

3. Resultados e discussão

Os valores medidos em laboratório e os valores previstos pelas simulações numéricas para a resistência térmica face-a-face das paredes analisadas, bem como as diferenças absolutas e percentuais obtidas entre eles, estão apresentados na Tabela 3. Estes resultados estão organizados em 4 grupos: i) parede de referência (W_{ref}); ii) paredes com tiras de CT pelo interior (W_{in}); iii) paredes com tiras de CT pelo exterior (W_{out}), e; iv) paredes com tiras de CT em ambos os lados (W_{x2}).

Os resultados obtidos permitem verificar que os valores de R medidos em laboratório e os previstos recorrendo a simulações numéricas são bastante semelhantes (diferenças percentuais entre 0% e +2%), assegurando a fiabilidade dos mesmos. Acrescente-se ainda que, os resultados da simulação numérica são tendencialmente conservadores. Para além disso, verifica-se que o aumento do valor de R depende, fundamentalmente, de dois fatores: i) o número de tiras de CT aplicadas (apenas uma no banzo interior ou exterior, ou duas, i.e., em ambos os banzos); e ii) o coeficiente de condutibilidade térmica do material constituinte das tiras de CT utilizadas. Para

uma melhor visualização e comparação dos resultados, na Fig. 5 apresentam-se graficamente os valores de R medidos, estando indicado, adicionalmente, o valor de R obtido pelo THERM para a parede de referência sem perfis de aço.

Tabela 3: Valores medidos e previstos (THERM) das resistências térmicas face-a-face (R)

Código da parede Indicação das camadas (mm)	Valor de R		Diferença	
	THERM [[m ² ·K)/W]	Medido [[m ² ·K)/W]	Absoluta [[m ² ·K)/W]	Percentual [%]
W_{ref} 2GC(12.5)+[C90+LM(90)]+2GC(12.5)	1.719	1.752	+0.033	+2%
W_{MS-R1in} 2GC(12.5)+[C90+LM(90)+ R1(10)]+2GC(12.5)	1.932	1.964	+0.032	+2%
W_{XPSin} 2GC(12.5)+[C90+LM(90)+ XPS(10)]+2GC(12.5)	2.162	2.195	+0.033	+2%
W_{AGin} 2GC(12.5)+[C90+LM(90)+ AG(10)]+2GC(12.5)	2.359	2.404	+0.045	+2%
W_{MS-R1out} 2GC(12.5)+[R1(10) +C90+LM(90)]+2GC(12.5)	1.932	1.931	-0.001	0%
W_{XPSout} 2GC(12.5)+[XPS(10) +C90+LM(90)]+2GC(12.5)	2.162	2.211	+0.050	+2%
W_{AGout} 2GC(12.5)+[AG(10) +C90+LM(90)]+2GC(12.5)	2.359	2.414	+0.055	+2%
W_{MS-R1x2} 2GC(12.5)+[R1(10) +C90+LM(90)+ R1(10)]+2GC(12.5)	2.147	2.142	-0.005	0%
W_{XPSx2} 2GC(12.5)+[XPS(10) +C90+LM(90)+ XPS(10)]+2GC(12.5)	2.574	2.627	+0.053	+2%
W_{AGx2} 2GC(12.5)+[AG(10) +C90+LM(90)+ AG(10)]+2GC(12.5)	2.892	2.885	-0.007	0%

GC – Gesso cartonado; C90 – Tipo de perfil e dimensão da alma em mm; LM – Lã mineral; R1 – Tira de corte térmico de borracha reciclada (anteriormente designada de MS-R1); XPS – Tira de corte térmico de poliestireno extrudido; AG – Tira de corte térmico de aerogel

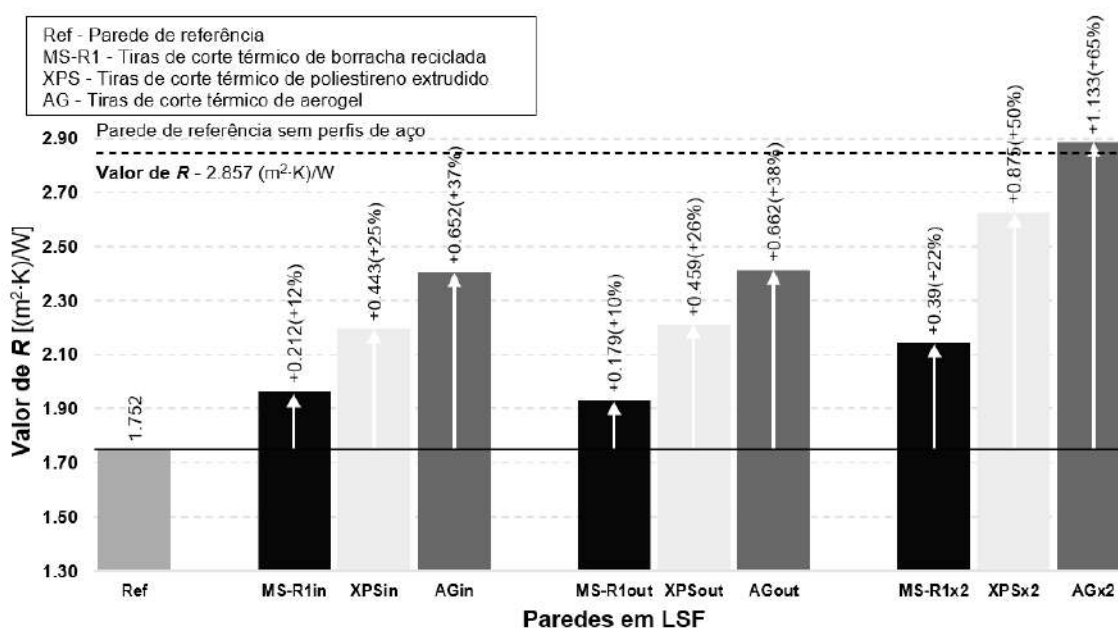


Fig. 5: Valores medidos da resistência térmica face-a-face

Tal como esperado, a mitigação do efeito das pontes térmicas da estrutura metálica proporcionada pela aplicação de tiras de CT nos banzos dos perfis de aço, permitiu, em todos os casos em análise, aumentar a resistência térmica das paredes em LSF. A aplicação de tiras de CT conduziu a aumentos do valor de R face-a-face desde 10% (parede com tira de CT de borracha reciclada pelo exterior) até 65% (parede com tiras de CT de aerogel pelo interior e exterior).

Analisando os materiais constituintes das tiras de CT, o aerogel, material com coeficiente de condutibilidade térmica mais baixo, foi aquele que proporcionou melhorias do desempenho térmico superiores: +37% para tira de CT no banzo interior, +38% para tira de CT no banzo exterior, e +65% para tiras de CT em ambos os banzos. Contrariamente, a borracha reciclada, material com coeficiente de condutibilidade térmica mais elevado, proporcionou os menores aumentos de resistência térmica das paredes em análise, enquanto que as tiras constituídas por poliestireno extrudido registaram valores intermédios. Considerando a localização das tiras de CT nas paredes em LSF, verifica-se que, para cada material, os maiores aumentos do valor de R registam-se quando se aplicam tiras de CT em ambos os banzos do perfil metálico. Por outro lado, a aplicação de tiras de CT no banzo interior ou exterior fornece resultados bastante semelhantes, sendo um resultado expectável dada a simetria da parede.

Verifica-se ainda que, entre as paredes testadas, apenas a solução constituída por tiras de CT em aerogel, aplicadas em ambos os banzos, é capaz de atingir o valor de R proporcionado pela parede de referência sem estrutura metálica ($2.857 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), anulando totalmente, desta maneira, o efeito das pontes térmicas originadas pelos perfis de aço.

4. Conclusões

Nesta comunicação foi avaliada a contribuição da aplicação de tiras de CT no desempenho térmico de paredes em LSF. Para tal, procedeu-se à medição experimental, em condições laboratoriais controladas, do valor da resistência térmica de um conjunto de paredes em LSF com tiras de CT ao longo dos banzos dos perfis metálicos, tendo os resultados obtidos sido comparados com os valores fornecidos através de simulações numéricas. O estudo foi realizado considerando tiras de CT constituídas por três materiais (borracha reciclada, poliestireno extrudido e aerogel) e aplicadas em três localizações distintas (no banzo interior, no banzo exterior e em ambos os banzos).

As principais conclusões deste estudo são as seguintes:

- (1) O material das tiras de CT que proporcionou o melhor desempenho térmico foi o aerogel, enquanto que a borracha reciclada registou o pior desempenho. Por sua vez, o poliestireno extrudido forneceu resultados intermédios;
- (2) Para cada material, a aplicação de tiras de CT em ambos os banzos conduziu a aumentos superiores da resistência térmica;
- (3) A aplicação de tiras de CT apenas no banzo interior ou exterior origina melhorias similares do desempenho térmico;
- (4) A solução constituída por tiras de CT em aerogel aplicadas em ambos os banzos dos perfis de aço é a única configuração capaz de atingir o valor de R proporcionado pela parede de referência sem estrutura metálica, anulando totalmente o efeito das pontes térmicas originadas pela estrutura metálica.

Financiamento

Este trabalho de investigação foi financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização – COMPETE e por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projeto POCI-01-0145-FEDER 032061.

Cofinanciado por: POCI01-0145-FEDER-032061



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



Agradecimentos

Os autores pretendem também agradecer a ajuda prestada pelas seguintes empresas parceiras do projeto: Pertecno, Gyptec Ibérica, Volcalis, Sotinco, Kronospan, Hulkseflux, Hilti and Metabo.

Referências

- [1] Tyre4BuildIns, “Recycled tyre rubber resin-bonded for building insulation systems towards energy efficiency,” *Universidade de Coimbra*. [Online]. Available: www.tyre4buildins.dec.uc.pt. [Accessed: 15-Sep-2021].
- [2] P. Santos and D. Mateus, “Experimental assessment of thermal break strips performance in load-bearing and non-load-bearing LSF walls,” *J. Build. Eng.*, vol. 32, no. July, p. 101693, 2020, doi: 10.1016/j.job.2020.101693.
- [3] ISO 9869-1, “Thermal insulation – Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance. Part 1: Heat flow meter method,” *ISO - International Organization for Standardization*. Geneva, Switzerland, 2014.
- [4] P. Santos, G. Lemes, and D. Mateus, “Thermal Transmittance of Internal Partition and External Facade LSF Walls: A Parametric Study,” *Energies*, vol. 12, no. 14, pp. 2671–2690, 2019, doi: 10.3390/en12142671.
- [5] N. Soares, C. Martins, M. Gonçalves, P. Santos, L. S. da Silva, and J. J. Costa, “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 Build.*, vol. 182, pp. 88–110, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.10.021.