

Impacto de estratégias de aquecimento nos sistemas de construção LSF: avaliação do conforto térmico e desempenho energético

Impact of heating strategies in LSF building systems: evaluation of thermal comfort and energy performance

R.M.S.F. Almeida^{a†}, R. Vicente^b, A. Figueiredo^b, M. Figueiredo^b

^a *CONSTRUCT, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, s/n; 4200-465 Porto, Portugal*

^b *RISCO, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago 3810-193 Aveiro*

[†] *ralmeida@estgv.ipv.pt*

RESUMO

A importância de compatibilizar um bom desempenho térmico com uma elevada eficiência energética é um desafio relevante e atual nos edifícios residenciais. Nos países do sul da Europa, o recurso aos sistemas de aquecimento é, muitas vezes, condicionado, por um fenómeno designado por pobreza energética. Neste contexto, o desafio de procurar soluções construtivas sustentáveis, que otimizem o desempenho térmico dos edifícios, é ainda mais premente.

O sistema construtivo em aço enformado a frio, *Light Steel Framing* (LSF), tem vindo a ocupar uma posição mais relevante no mercado e de forma crescente. No entanto, a utilização destes sistemas é ainda questionada devido à sua fraca inércia térmica. Este estudo pretende contribuir para a compreensão do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios em LSF localizados em climas mediterrâneos. Para apoiar este trabalho, utilizam-se duas células de teste, uma composta por materiais tradicionais (construção em betão armado e alvenaria) e uma segunda composta por construção em aço enformado a frio. Foi comparado o desempenho das duas células de teste no período de inverno, considerando-se diferentes estratégias de aquecimento (contínuo e intermitente), procurando-se assim analisar os hábitos reais de aquecimento da população, neste caso de estudo, portuguesa. A monitorização inclui a medição da temperatura do ar interior e do consumo de energia para aquecimento.

Na sequência deste trabalho, pretende-se contribuir para uma melhor compreensão do desempenho térmico e energético dos edifícios em aço enformado a frio quando comparados com edifícios de construção tradicional, bem como na capacidade destes de proporcionarem um ambiente confortável de forma mais económica e mais sustentável.

ABSTRACT

The importance of simultaneously good thermal performance and high energy efficiency is a relevant and current challenge in residential buildings. In southern European countries, the use of heating systems is often limited by a phenomenon called energy poverty. In this context, the challenge of aspiring sustainable constructive solutions, which optimise the thermal performance of buildings, is even more urgent.

The constructive system in Light Steel Framing (LSF) has been occupying a more relevant position in the market and with a growth path. However, the use of these systems still needs to be studied due to their low thermal inertia. This study aims to increase the current knowledge regarding the thermal behaviour and energy

Palavras-chave:

Estruturas de aço leve; Campanha experimental; Inércia térmica; Estratégias de aquecimento; Conforto térmico; Desempenho energético.

Keywords:

Light steel framing; Experimental campaign; Thermal inertia; Heating strategies; Thermal comfort; Energy performance.

performance of LSF buildings in Mediterranean climates. Thus, two test cells are tested, one composed of traditional solutions (reinforced concrete and masonry construction) and the second consisting of cold-formed steel construction. The performance of the two test cells was compared in the winter period, considering different heating strategies (continuous and intermittent), to analyse some patterns of the user's heating habits, in this case, regarding the Portuguese population. The monitoring includes measuring indoor air temperature and energy consumption for heating the space.

This research work intends to contribute to a better understanding of the thermal and energy performance of light steel framing buildings when compared with traditional construction buildings and their ability to provide a comfortable environment more economically and sustainably.

1. Introdução

Segundo a Organização Mundial de Saúde, a população das sociedades modernas passa aproximadamente 90% do seu tempo no interior dos edifícios, sendo que 2/3 desse tempo é passado na própria habitação [1]. Adicionalmente, os edifícios residenciais ganharam igualmente novos requisitos que têm vindo progressivamente a evoluir, não apenas como locais de habitação, mas também como zonas de trabalho profissional.

O sector residencial é responsável por uma parte muito significativa do consumo energético na União Europeia (UE), tendo este sector representado aproximadamente 27% do total do consumo de energia em 2020. Salienta-se que desse consumo, 62.8% destina-se a colmatar as necessidades de aquecimento das habitações [2]. Estas percentagens justificam a crescente consciencialização sobre a importância de encontrar novas soluções construtivas sustentáveis, que satisfaçam as necessidades de conforto, promovendo a eficiência energética dos edifícios.

Nos países do sul da Europa, pela sua especificidade climática (verões secos e invernos amenos e húmidos), contexto económico (rendimentos baixos e elevado custo energético) e cultural (hábitos e comportamentos) [3], a prática de aquecimento contínuo não é recorrente, sendo o aquecimento intermitente a prática mais comum dentro das habitações residenciais. Desta forma, é importante entender-se a influência e eficiência dessas práticas em diferentes tipologias construtivas, nomeadamente comparando o desempenho térmico e energético da construção corrente em betão armado e alvenaria, com as soluções designadas de construção ligeira ou leve, que emergem no setor dos edifícios.

O uso de materiais e componentes de construção pesados com capacidade de armazenamento de calor, tais como betão armado e alvenaria, conduzem a soluções com uma forte inércia térmica, soluções essas que há muito estão presentes no edificado residencial do sul da Europa [4]. Este hábito construtivo nasce da necessidade de manter as habitações com uma reduzida amplitude térmica. Sendo os países do sul da Europa caracterizado por variações de temperatura diária e sazonal consideráveis, estes sistemas construtivos tendencialmente apresentarão um melhor desempenho. Por outras palavras, a forte inércia térmica destas construções permite uma temperatura interior mais estável, sem utilização de fontes de aquecimento ou arrefecimento, resultando num maior conforto térmico interior.

No entanto, o setor dos edifícios tem vindo a passar por uma mudança de paradigma, face ao surgimento de novas tecnologias construtivas. Assim, alternativas mais industrializadas e ligeiras têm ganho quota no mercado da indústria da construção, mostrando abordagens diferentes para satisfazer as necessidades humanas (sociais, económicas e culturais). O sistema construtivo de perfis em aço enformado a frio, tipicamente designado como *Light Steel Framing*, é um bom exemplo que tem vindo a ganhar notoriedade na indústria da construção, mostrando que consegue oferecer vantagens em relação ao sistema construtivo convencional [5].

Motivado pelo crescimento das soluções em aço enformado a frio nos países do sul da Europa, este trabalho pretende discutir as oportunidades e limitações deste sistema construtivo em termos de desempenho térmico e energético, tendo em conta diferentes estratégias de aquecimento (aquecimento contínuo e/ou intermitente). Assim, é avaliada a influência do padrão

de aquecimento, intermitente ou contínuo, através de uma campanha de monitorização de condições ambientais interiores e consumo energético em duas células de teste. O período de monitorização decorreu durante a estação de aquecimento, sendo uma célula representativa da construção corrente em betão e alvenaria (designada de HBM) e a outra representativa da construção leve em aço enformado a frio (designada de LSF).

2. Metodologia

2.1. Células de teste

As células de teste localizam-se em Albergaria-a-Velha, no distrito de Aveiro (região centro litoral de Portugal, com latitude 40°41'22.70"N, longitude 8°31'2.49"W, e 113 m de elevação). Esta região, segundo a classificação de Köppen-Geiger [6], é caracterizada por um verão quente, pertencendo ao grupo Csb.

As células de teste encontram orientadas pelo seu lado de maior dimensão, com uma direção aproximada à linha norte-sul (155° SE). Não existem elementos de sombreamento a sul e poente que possam implicar perturbações ou incertezas nos resultados, existindo um alinhamento de árvores na zona norte às mesmas. Adicionalmente, a implementação das células de teste foi projetada de modo a não existir sombreamento de uma sobre a outra. A Figura 1 apresenta a implantação das células de teste através de imagem satélite e apresenta também uma fotografia com vista principal do alçado orientado a sul das mesmas.



Figura 1 – Implantação das células de teste: a) Imagem satélite; b) Fotografia das células de teste.

A geometria das células de teste é regular, com dimensões internas em planta de 3,86 m por 2,97 m, resultando numa área de piso de aproximadamente 11,5 m². O pé-direito é de 2,7 m, resultando num volume interno de aproximadamente 31,0 m³. Para a definição do vão envidraçado foi realizada uma análise de sensibilidade com recurso ao programa DesignBuilder, tendo-se selecionado uma janela com 1,50 m², localizada no alçado sul.

Em termos construtivos, a célula à esquerda na Figura 1b) corresponde à solução em aço enformado a frio, enquanto a célula à direita corresponde à solução em betão armado e alvenaria, de modo a estabelecer uma referência para efeitos de comparação de desempenhos. As soluções adotadas para a cobertura e para as paredes exteriores apresentam o mesmo coeficiente de transmissão térmica nos dois sistemas construtivos, permitindo assim, a comparação direta do seu desempenho térmico. A caracterização construtiva detalhada das células de teste pode ser consultada em [7].

2.2. Monitorização

Para se caracterizar o comportamento térmico e o desempenho energético das duas células de teste, foi utilizado um conjunto de sensores para medir a temperatura e a humidade relativa (quatro sensores distribuídos junto ao pavimento e dois ao nível do teto, em cada uma das células de teste). Os sensores utilizados apresentam uma precisão de $\pm 0,2$ °C e $\pm 2,0$ %, para a medição da temperatura e da humidade relativa, respetivamente.

Em cada célula de teste está ainda instalado um sensor de temperatura junto ao centro

geométrico, que funciona como referência para o setpoint do sistema aquecimento. O setpoint estabelecido é de 18,0 °C, tendo o mesmo um intervalo de acionamento de 0,5 °C, o que significa que o sistema liga quando a temperatura do ar interior desce abaixo dos 17,5 °C, e desliga quando a temperatura atinge os 18,5 °C (dentro do horário definido para o período de aquecimento). O consumo de energia para aquecimento é monitorizado através de um medidor de consumo elétrico com funcionamento de data logger. O clima exterior foi monitorizado através de sensores termo higrômetros e de um piranômetro. A Figura 2 apresenta uma representação esquemática da instrumentação.

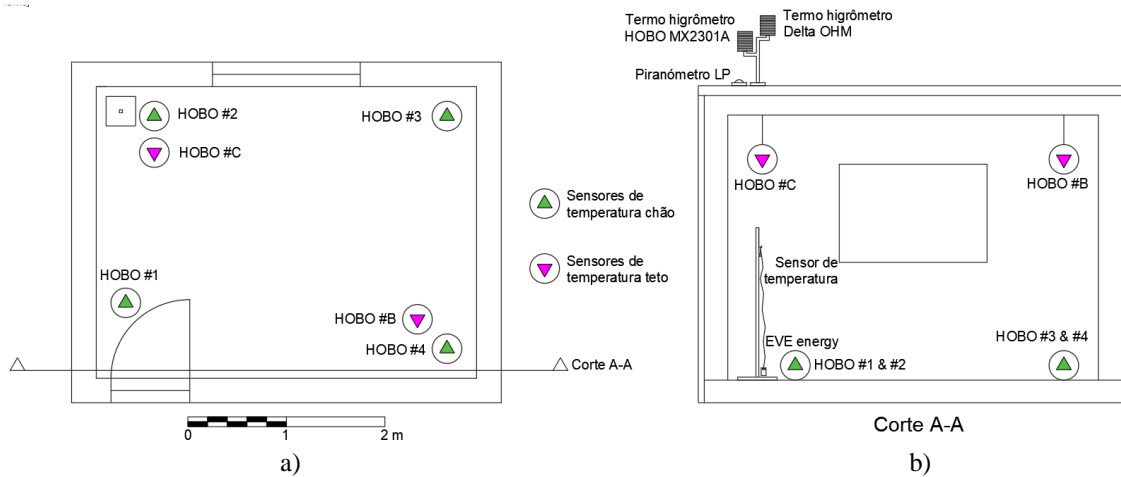


Figura 2 – Distribuição da instrumentação na célula de teste: a) Vista em planta; b) Vista em corte.

2.3. Ganhos internos

O efeito dos ganhos internos foi simulado considerando-se as recomendações da norma ISO 13790 [8], que, em contexto de edifícios residenciais, refere três períodos de ganhos internos num ciclo diário: das 23h às 7h, com um ganho de 2 W/m²; das 7h às 17h, com um ganho de 8 W/m²; e das 17h às 23h, com um ganho de 20 W/m². Aplicando esta recomendação à dimensão das células de teste (11,5 m²), resulta num ganho de calor de 23 W, 92 W e 230 W, para cada um dos períodos referidos. Este efeito foi considerado através de lâmpadas de aquecimento, que por disponibilidade de potências de lâmpadas comerciais, ajustaram-se estes valores, resultando assim o perfil de ganhos internos representado na Figura 3.

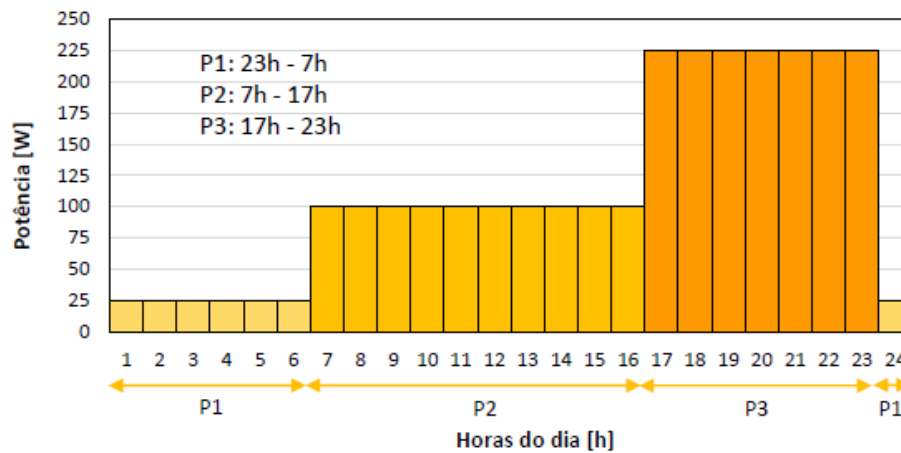


Figura 3 – Perfil dos ganhos internos.

2.4. Perfis de aquecimento

Para o aquecimento das células de teste foram instaladas no seu interior cinco lâmpadas de aquecimento (1 x 25 W, 1 x 75 W, 1 x 150 W e 2 x 200 W), perfazendo uma potência máxima de 650 W. Para avaliar a influência do padrão de aquecimento, foram definidos quatro perfis de aquecimento: perfil A, aquecimento das 20 às 23h; perfil B, aquecimento das 17 às 23h; perfil C, aquecimento das 17 às 7h; e perfil D, aquecimento contínuo (Figura 4). Os perfis foram consecutivamente aplicados ao longo de sete dias, tendo-se repetido o ciclo três vezes. A duração total do ensaio foi de aproximadamente quatro meses.

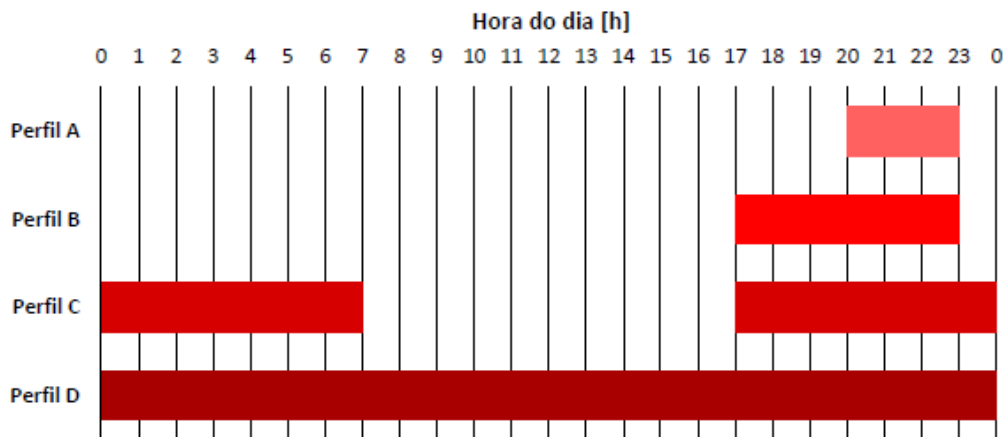


Figura 4 – Perfis de aquecimento.

3. Resultados

3.1. Temperatura exterior

As temperaturas do ar exterior registadas durante o período de medição estão sintetizadas na Figura 5, separadamente para cada mês.

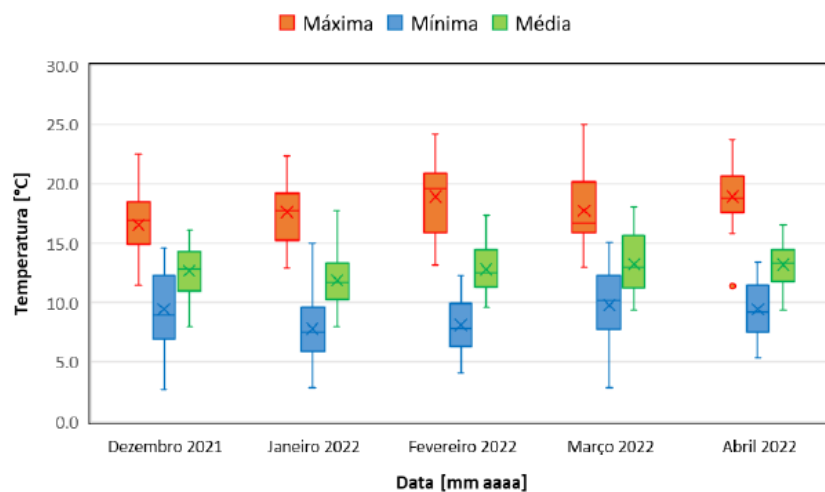


Figura 5 – Temperatura exterior máxima, mínima e média para o período de estudo.

Dos resultados é possível concluir que, durante o período de ensaio, a temperatura exterior foi particularmente amena, com poucos períodos de temperaturas baixas, resultando em reduzidas necessidades de aquecimento das células de teste. Registaram-se vários períodos em que a temperatura exterior foi superior à temperatura interior estabelecida como *setpoint* do sistema de aquecimento.

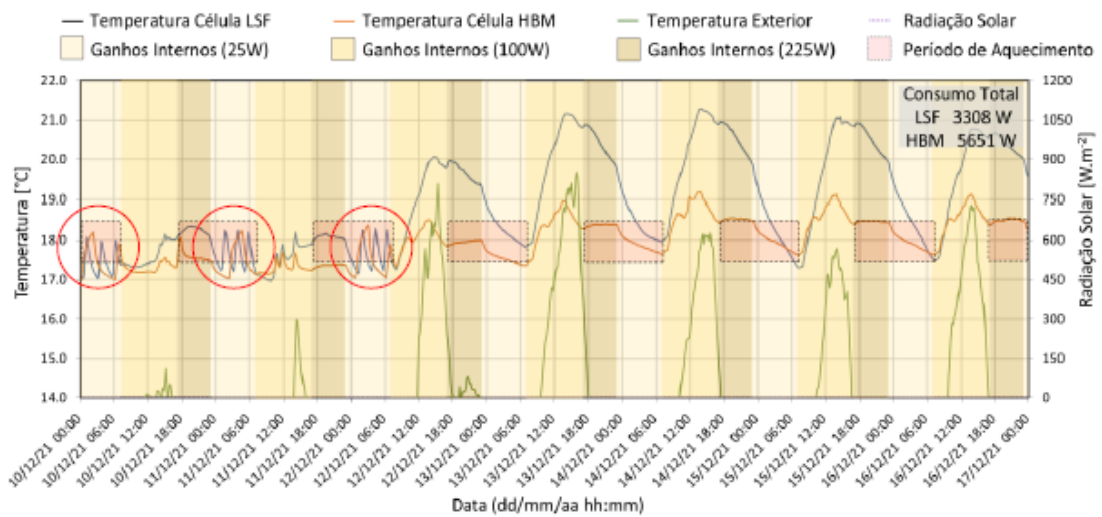
3.2. Temperatura interior e consumo de energia

A título de exemplo, a Figura 6 apresenta detalhadamente os resultados obtidos em três semanas de ensaio com o perfil de aquecimento C (17h-7h). Nessa figura representam-se as variações da temperatura do ar no interior das duas células de teste (LSF e HBM), os registos da temperatura do ar exterior e da radiação solar, bem como a indicação dos períodos em que são considerados os ganhos internos e os períodos em que funcionou o sistema de aquecimento.

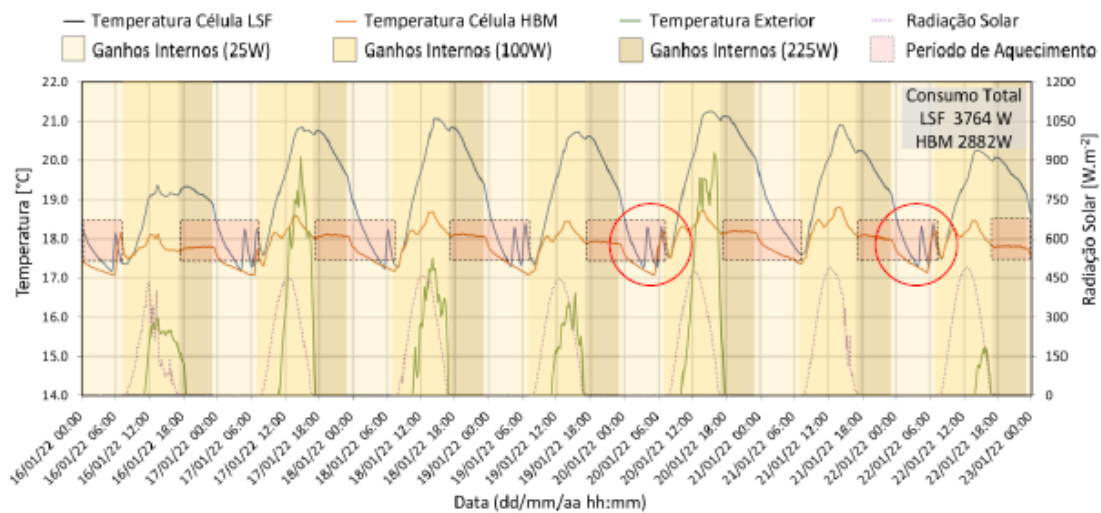
Nos três primeiros dias da segunda semana de ensaios (Figura 6a)), é possível observar que na célula de teste HBM o sistema de aquecimento apenas iniciou uma vez, enquanto na célula de teste em LSF arrancou três vezes (nº de picos no registo da temperatura). No entanto, a célula de HBM necessitou de mais tempo para atingir o valor de temperatura interior desejado, levando a um maior consumo energético face à célula de LSF, que atingiu mais rapidamente a temperatura desejada.

Na Figura 6b) é possível observar ocorrências semelhantes, com mais arranques do sistema na célula em LSF. Refira-se ainda, que a célula de HBM conseguiu manter uma temperatura interior confortável durante a maioria do período de aquecimento, ligando o aquecimento apenas no final do mesmo, resultando assim numa diminuição do consumo energético. No acumulado dessa semana, a célula em LSF apresentou um consumo mais elevado do a célula HBM, ao contrário do que havia sucedido na primeira semana de ensaio.

Assim, realizou-se mais uma semana de medição (Figura 6c)). No entanto, o clima exterior foi bastante temperado, resultando num consumo de energia muito residual em ambas as células de teste.



a)



b)

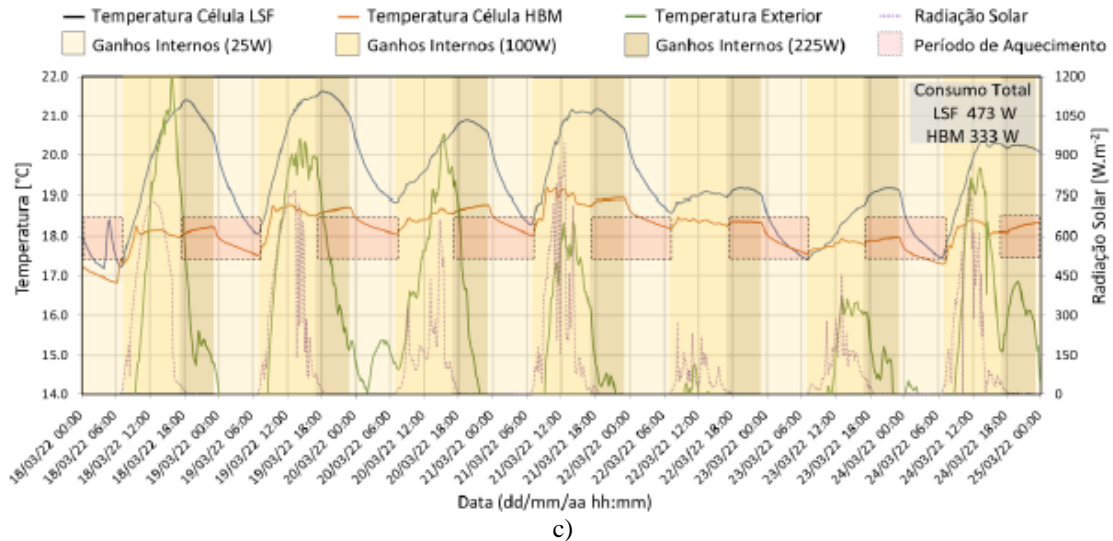


Figura 6 – Temperatura do ar no interior nas células de teste e condições ambientais externas durante uma semana com perfil de aquecimento C: a) PA#C_2ªsem (17-7h); b) PA#C_6ªsem (17-7h); c) PA#C_14ªsem (17-7h).

3.3. Síntese

A Figura 7 mostra todos os resultados obtidos durante as semanas de medição, separadamente para cada perfil de aquecimento. A Figura 8 sintetiza os resultados, incluindo a informação relativa aos graus hora de aquecimento (HDH – *heating degree hours*) e à temperatura média diária exterior (TMDe) das diferentes semanas de ensaio.

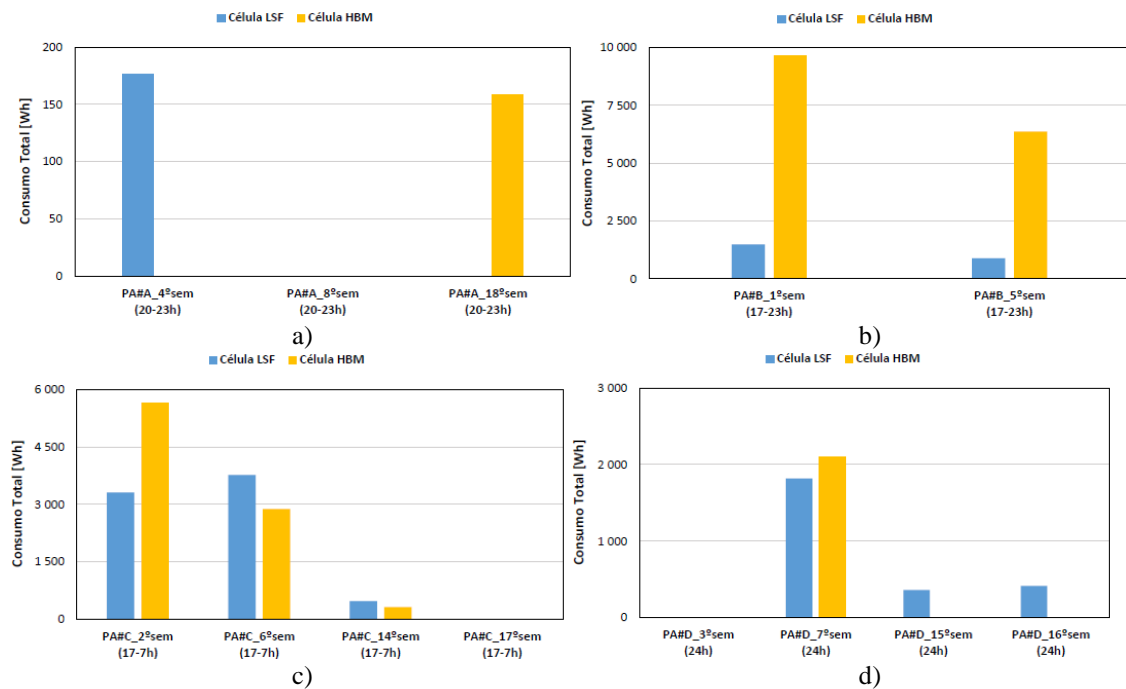


Figura 7 – Consumo total de energia de cada semana de teste para o perfil de aquecimento: a) A; b) B; c) C; d) D.

Perfil de Aquecimento	Semana	HDH (°C)	TMDe (°C)	Consumo Energético total [W]	
				LSF	HBM
PA#A (20-23h) 3h de aquecimento	4°	807	13.4	176	0
	8°	1002	12.2	0	0
	18°	948	12.4	0	159
PA#B (17-23h) 6h de aquecimento	1°	1303	10.1	1486	9664
	5°	1132	11.3	893	6373
PA#C (17-7h) 14h de aquecimento	2°	934	12.5	3308	5651
	6°	1134	11.3	3764	2882
	14°	581	14.8	473	323
	17°	718	13.9	0	0
PA#D (24h) 24h de aquecimento	3°	641	14.2	0	0
	7°	950	12.4	1819	2093
	15°	743	13.9	360	0
	16°	913	12.6	414	0

Figura 8 – Consumos totais, graus hora de aquecimento (HDH) e temperatura média diária exterior (TMDe)

É possível observável que as semanas que necessitaram de um maior consumo de energia foram aquelas que apresentaram um índice de HDH superior a 1000 °C e uma TMDe inferior a 12 °C, ocorrendo a diminuição da necessidade de aquecimento para temperaturas exteriores superiores. Estas circunstâncias coincidiram com o perfil de aquecimento B (6h de aquecimento intermitente, das 17 às 23h), tendo a célula de teste em LSF apresentado um desempenho energético significativamente melhor do que o desempenho observado na célula HBM.

No entanto, a variabilidade encontrada nos restantes períodos de ensaio, não permitem estender esta conclusão para outras condições de fronteira, sendo necessário mais investigação neste domínio.

4. Conclusões

Neste trabalho são apresentados os resultados de uma extensa campanha de monitorização do comportamento térmico e do desempenho energético de duas células de teste, uma representativa da construção corrente em betão e alvenaria (HBM) e a outra representativa da construção leve em aço enformado a frio (LSF). Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do padrão de aquecimento, intermitente ou contínuo em edifício de carácter residencial. A análise dos resultados, permitiu as seguintes conclusões:

- o clima moderado de Albergaria-a-Velha condicionou maiores amplitudes nos resultados, ocorrendo vários períodos em que não foi necessário ligar o sistema de aquecimento para garantir a temperatura interior de 18;0 °C (*setpoint* definido para o arranque dos sistemas);
- o perfil de aquecimento conduz a diferentes respostas por parte das soluções construtivas. Perfis de aquecimento de menor duração, nomeadamente o perfil B (17-23h), resultaram num consumo energético cerca de sete vezes inferior na solução em LSF, comparativamente ao sistema construtivo em HBM. Este resultado confirma que as soluções leves apresentam uma resposta quase imediata ao sistema de aquecimento, apontando para um desempenho interessante e promissor num contexto de aquecimento intermitente;
- a variabilidade encontrada nos resultados, não permite conclusões definitivas, sendo necessário mais investigação neste domínio, nomeadamente através de uma nova campanha de monitorização em que seja reduzido o número de perfis de aquecimento analisados, mas prolongando-se a sua duração para minimizar os impactos do clima exterior.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por:

Financiamento Base - UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto

de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC);

Financiamento Base - UIDB/04450/2020 da Unidade de Investigação RISCO – *Risks and Sustainability in Construction* – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Este trabalho teve ainda o suporte financeiro e técnico da empresa Perfisa – Fábrica de Perfis Metálicos, S.A.

Referências

- [1] A. Dimosthenis, A. Sarigiannis, Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments, World Health Organization Rep. Eur., no. October, p. 82, 2014.
- [2] Council of the European Union, Your Key to European Statistics, Eurostat, 2020. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220617-1>.
- [3] S.A.M. Barbosa, Comparação do índice de desconforto passivo com a classe energética de edifícios de habitação reabilitados do sul da europa, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020.
- [4] G. Evola, L. Marletta, S. Natarajan, E. Maria Patanè, Thermal inertia of heavyweight traditional buildings: Experimental measurements and simulated scenarios, Energy Procedia, 133 (2017) 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.369>.
- [5] E. Roque, R. Vicente, R.M.S.F. Almeida, Opportunities of Light Steel Framing towards thermal comfort in southern European climates: Long-term monitoring and comparison with the heavyweight construction, Build. Environ., 200 (2021) 107937. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107937>.
- [6] M. Kottek, J. Grieser, C. Beck, B. Rudolf, F. Rubel, World map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorol. Zeitschrift, 15(3) (2006) 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- [7] E. Roque, Indoor Thermal Comfort and Energy Performance of Residential Light Steel Framing Buildings, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil apresentada à Universidade de Aveiro, 2021.
- [8] ISO 13790:2008. Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2008.

ORCID

Ricardo M.S.F. Almeida	0000-0002-9846-6081 (https://orcid.org/0000-0002-9846-6081)
Romeu Vicente	0000-0002-5456-1642 (https://orcid.org/0000-0002-5456-1642)
António Figueiredo	0000-0003-4324-7006 (https://orcid.org/0000-0003-4324-7006)
Mário Figueiredo	0009-0003-3464-2220 (https://orcid.org/0009-0003-3464-2220)