CONSTRUÇÃO DE APARATO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM PAREDES

Bruno Frisch de Souza, Fernanda Perazzolo Disconzi

INTRODUÇÃO

O coeficiente global de transferência de calor (*U*) é um parâmetro essencial para a avaliação do desempenho térmico de fechamentos opacos de edificações, influenciando diretamente as estratégias de eficiência energética e conforto térmico. Métodos consagrados na literatura, como a técnica da caixa quente (Hot Box) e a termografia infravermelha, permitem a determinação experimental desse coeficiente em amostras de parede sob condições controladas de laboratório. Este trabalho tem como objetivo projetar, construir e calibrar um aparato experimental, inspirado no método da caixa quente, associado a um sistema de aquisição de dados baseado em microcontroladores Arduino, capaz de medir com precisão as temperaturas superficiais e do ar em ambas as faces de uma amostra de parede multicamada, viabilizando a determinação do seu coeficiente global de transferência de calor.

DESENVOLVIMENTO

A pesquisa iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre métodos de determinação do *U*, com destaque para a técnica da caixa quente (BURATTI et al., 2016; NARDI et al., 2016). O aparato experimental foi estruturado na forma de um túnel composto por duas câmaras (quente e fria), separadas por uma amostra instrumentada de parede em sistema wood-frame. A amostra foi constituída por estrutura lateral de madeira e disposta nas seguintes camadas: placa de gesso acartonado, painel OSB, câmara de ar, segundo painel OSB e placa cimentícia – esta última voltada para a câmara quente. Para o monitoramento das variáveis do ensaio, desenvolveu-se um sistema dedicado de aquisição de dados (*datalogger*) multicanal baseado na plataforma Arduino (NALAVADE et al., 2019). A arquitetura do sistema conta com dois microcontroladores Arduino Mega 2560 e 18 módulos amplificadores MAX31856 para termopares do tipo K, responsáveis pelo registro contínuo da temperatura da superfície quente (face da placa cimentícia), exposta diretamente à radiação de uma lâmpada halógena de 1000 W, e da superfície fria (voltada ao ambiente controlado de uma sala isolada). Complementarmente, instalaram-se quatro sensores DHT22, dois no interior da amostra e um em cada câmara, para monitoramento da temperatura e umidade do ar nos ambientes quente e frio. Para garantir a integridade de todos os componentes eletrônicos do sistema de aquisição, projetou-se um invólucro protetor impresso em 3D. Durante a montagem do túnel e a acoplagem da parede entre as câmaras, realizaram-se sucessivas verificações da vedação térmica da estrutura, utilizando massa de calafetação e manta de fibra de vidro. A eficiência do isolamento foi avaliada por termografia infravermelha, possibilitando a identificação e correção de eventuais pontos de fuga de calor. Antes da instrumentação final, os 18 termopares tipo K foram calibrados individualmente frente a um instrumento de referência (*Microtemp 16P*), em três patamares de temperatura (50, 100 e 150 °C, com variação de ± 0,8 °C) e cinco repetições por patamar, totalizando 15 pontos por sensor. Para cada termopar, obteve-se uma equação de correção por regressão linear, determinada pelo método dos mínimos quadrados. Por fim, o isolamento térmico da caixa foi reforçado com mantas aluminizadas, sendo parte delas reforçada com manta de fibra de vidro na região próxima à lâmpada halógena devido à maior exposição térmica. Os procedimentos experimentais – englobando o sistema de aquisição dedicado, visão geral da câmara quente, a calibração dos sensores e a análise por termografia infravermelha – encontram-se ilustrados na Fig. 1 (a)-(d).

RESULTADOS

O sistema de aquisição de dados construído mostrou-se funcional, com os dois Arduino Mega realizando a leitura em tempo real dos 18 termopares e dos quatro sensores de umidade. A calibração individual dos termopares resultou em coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,9998 para todos os 18 sensores, com erro médio absoluto entre 0,10 °C e 0,30 °C e erro máximo absoluto inferior a 0,65 °C na maioria dos sensores, indicando forte linearidade entre a leitura bruta e a temperatura de referência. As equações de calibração obtidas evidenciam pequenos desvios sistemáticos entre sensores, os quais são corrigidos pelas equações lineares individuais, fator importante para garantir a confiabilidade da distribuição espacial de temperatura nas duas faces da amostra, etapa fundamental para o cálculo posterior do fluxo de calor e do coeficiente global de transferência de calor. O processo de vedação e isolamento térmico (massa de calafetação e mantas aluminizadas/fibra de vidro) foi analisado por termografia infravermelha com o objetivo de reduzir perdas indesejadas de calor pelas paredes do próprio aparato, etapa essencial para a validade das medições de U.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados parciais obtidos com os primeiros testes indicam que o aparato experimental e o sistema de aquisição de dados desenvolvidos atendem aos objetivos propostos nesta etapa do trabalho: construção do *datalogger* multicanal, montagem do aparato experimental, calibração precisa dos sensores de temperatura e primeiros dados do comportamento térmico transiente. Durante o ensaio em regime transiente, o tempo de resposta térmica da parede foi de 35 minutos, instante em que a superfície fria começou a registrar elevação de temperatura derivada do aquecimento do lado quente, conforme Fig. 2(a). A temperatura máxima registrada na superfície fria atingiu aproximadamente 30% do valor máximo observado na superfície quente, evidenciando o amortecimento térmico da parede em *wood-frame*. Observou-se uma correlação entre a temperatura e a umidade relativa no interior da amostra. Conforme a temperatura subiu de aproximadamente 19 ºC para 51 ºC (posição superior) e 47 ºC (posição inferior), como ilustrado na Fig. 2(b), a umidade relativa caiu de cerca de 82% para 67% e 78%, respetivamente (Fig. 2(c)). Este comportamento esperado durante o aquecimento inverteu-se com o subsequente arrefecimento do sistema. Esse efeito foi ainda mais acentuado no ar da câmara quente, próximo à fonte de calor, que atingiu aproximadamente 85°C e registrou queda de umidade relativa de cerca de 70% para 20%. Já o ar do ambiente externo manteve-se praticamente estável ao longo do ensaio, tanto em temperatura 18-19°C quanto em umidade relativa 85-90%. Como mostra a Fig. 2 (d), o coeficiente global de transferência de calor calculado ao longo do ensaio atingiu 0,87 W/(m²·K) no instante de pico de temperatura da face quente da amostra (91,1°C), valor que melhor representa a condição de maior fluxo de calor do ensaio; observou-se um segundo aumento acentuado de *U* durante a fase de resfriamento subsequente, chegando a um máximo aparente de 5,73 W/(m²·K), o qual, no entanto, constitui um artefato numérico decorrente da redução do denominador da equação do *U* à medida que a parede se resfria, não representando um aumento real na transferência de calor. A próxima etapa da pesquisa consiste na realização dos ensaios de determinação do coeficiente global de transferência de calor da amostra multicamada sob condições permanentes, com posterior comparação dos resultados obtidos com valores teóricos e com a literatura consultada.

Palavras-chave: transferência de calor; radiação; sistema de aquisição de dados dedicado; eficiência energética; conforto térmico.

ANEXOS

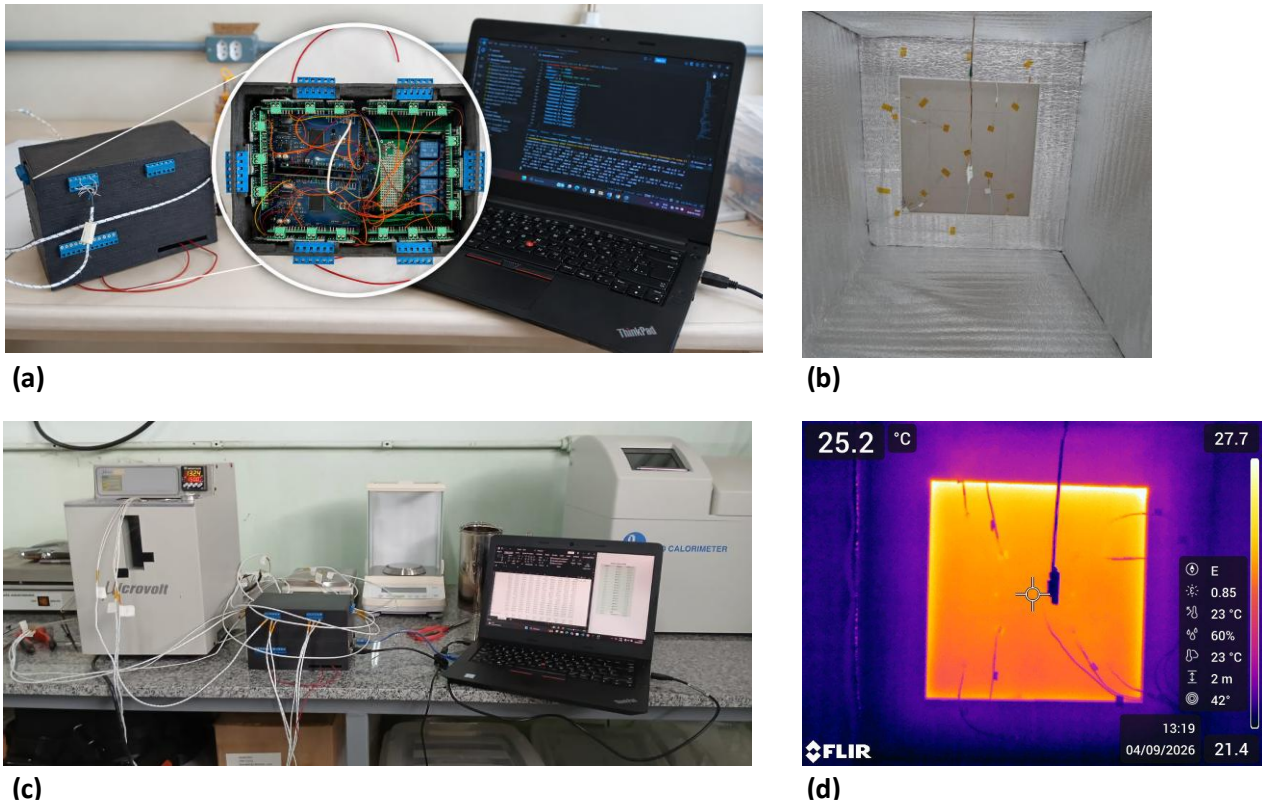


Figura 1. *Procedimentos experimentais: (a) sistema de aquisição de dados dedicado; (b) interior do aparato – lado quente; (c) calibração dos termopares; (d) imagem termográfica da amostra – lado frio.*

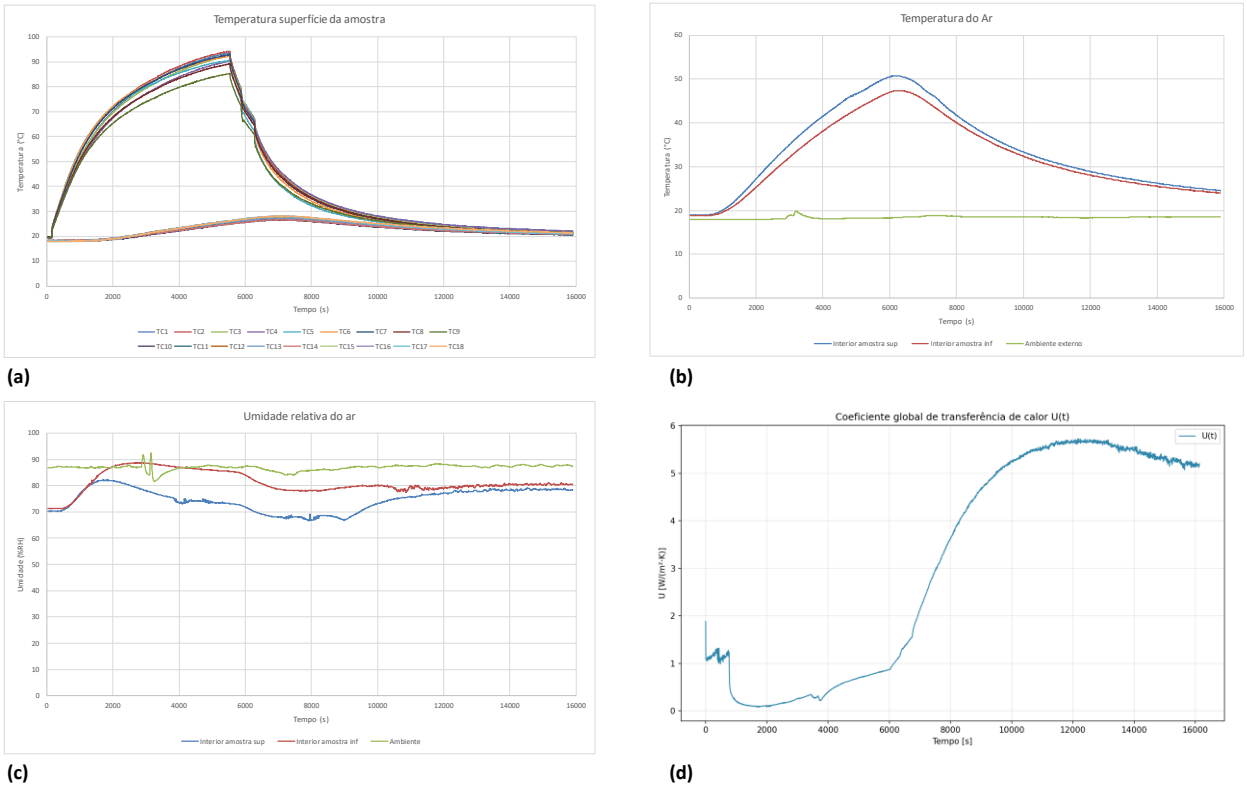


Figura 2. *Resultados do ensaio experimental: (a) temperatura dos 18 termopares; (b) temperatura do ar (DHT22); (c) umidade relativa (DHT22); (d) coeficiente global de transferência de calor U.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURATTI, C.; BELLONI, E.; LUNGHI, L.; BARBANERA, M. Thermal Conductivity Measurements By Means of a New 'Small Hot-Box' Apparatus: Manufacturing, Calibration and Preliminary Experimental Tests on Different Materials. International Journal of Thermophysics, v. 37, n. 47, 2016.

NALAVADE, S. P.; PATANGE, A. D.; PRABHUNE, C. L.; MULIK, S. S.; SHEWALE, M. S. Development of 12 Channel Temperature Acquisition System for Heat Exchanger Using MAX6675 and Arduino Interface. In: Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018). Singapore: Springer, 2019. p. 119-125.

NARDI, I.; PAOLETTI, D.; AMBROSINI, D.; DE RUBEIS, T.; SFARRA, S. U-value assessment by infrared thermography: A comparison of different calculation methods in a Guarded Hot Box. Energy and Buildings, v. 122, p. 211-221, 2016.