

CONSTRUÇÃO E TESTE DE UM DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE NOVOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO¹

MURATA, L. C. M., Universidade Estadual de Campinas, email: murataluciane@gmail.com;
SILVA JR, O. P., Universidade Estadual de Campinas, email: obadias@fec.unicamp.br;
CELENTE, D. G., Universidade Estadual de Campinas, email:dcelente@fec.unicamp.br; NEVES,
L. O., Universidade Estadual de Campinas, email: leticia@fec.unicamp.br.

ABSTRACT

Since defining the thermal properties of new construction materials is a requisite of standards and certification programs, the goal of this research was to build and test a heat flow meter apparatus, in order to perform thermal conductivity tests of building materials whose data is not available in specialized literature. The construction of the heat flow meter apparatus was based on parts 4 and 5 of Standard ABNT NBR 15220-2005. The methodology is based on heating the sample's upper surface and cooling its lower surface, under constant temperature. After starting the set, it takes a few hours until it achieves a steady state, which consists in a uniform temperature gradient over the sample. The heat flow is then measured and the thermal conductivity is calculated. The construction of the equipment will help to perform tests from ongoing and future researches, linked to laboratories and research groups from the School of Civil Engineering, Architecture and Urban Design of the University of Campinas.

Keywords: Thermal performance. Thermal conductivity. Heat flow meter apparatus.

1 INTRODUÇÃO

A condutividade térmica quantifica a capacidade dos materiais de conduzir energia térmica, sendo definida como a propriedade física do material no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 K/m (ABNT, 2005). Na construção civil, esta propriedade térmica tem influência direta no desempenho térmico de componentes construtivos.

Por ser uma propriedade direcional, a condutividade térmica é difícil mensurar (KORTE; BROUWERS, 2010). Os valores para materiais de construção disponíveis na literatura são restritos, sendo a fonte bibliográfica mais utilizada para consulta no Brasil a parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005), que apresenta uma tabela com valores médios para diversos materiais. Entretanto, estes valores são apenas indicativos, sendo que a própria Norma recomenda utilizar valores medidos em laboratório. Para a determinação da condutividade térmica, é necessária a realização de ensaios em um equipamento específico, denominado condutivímetro, cujas características variam conforme o tipo de material (isolante, condutor ou material intermediário) (NICOLAU; GÜTHS; SILVA, 2002).

¹ MURATA, L. C. M.; SILVA JR, O. P.; CELENTE, D. G.; NEVES, L. O. Construção e teste de um dispositivo para ensaio de condutividade térmica de novos materiais de construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

A condutividade térmica de uma amostra é determinada a partir da lei de Fourier (Equação 1) (ABNT, 2005), onde λ é a condutividade térmica (W/m.K), ΔT é a diferença de temperatura entre as duas faces da amostra (K), q é a densidade de fluxo de calor (W/m²) e A é a área da amostra (m²).

$$\lambda = \frac{q/A}{\Delta T/e} \quad (1)$$

Muitos materiais novos têm sido desenvolvidos, existindo uma grande necessidade de realização de ensaios de condutividade térmica, a fim de compreender melhor suas propriedades térmicas, visando seu uso adequado nas edificações em função do clima. A Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FEC-UNICAMP) possui uma diversidade de pesquisas em andamento envolvendo a proposição de novos materiais, junto ao Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LaCAF) e ao Laboratório de Materiais de Construção (LMC). Em vista disso, este trabalho tem por objetivo apresentar os procedimentos de construção e teste de um condutivímetro para realização de ensaios de condutividade térmica de materiais construtivos desenvolvidos no meio universitário, vindo ao encontro da crescente demanda pela obtenção de valores desta propriedade térmica, mesmo que aproximados. Salienta-se aqui que a proposta é um equipamento que permita ensaios preliminares, mais simples e rápidos, sendo que medições mais precisas deveriam ser realizadas em laboratórios de referência.

2 MÉTODO

As partes 4 e 5 da NBR 15220 (ABNT, 2005) apresentam métodos para medição da condutividade térmica pelos princípios da placa quente protegida e fluximétrico, respectivamente.

O método da placa quente protegida tem como princípio estabelecer um gradiente de temperatura através de duas placas, uma quente e outra fria, a partir de um fluxo de calor e em condições de regime permanente. Algumas das vantagens deste método são a condução unidimensional pelo corpo-de-prova, garantida pelo uso do anel de guarda (ABNT, 2005); e a obtenção da condutividade térmica para corpos-de-prova com resistência térmica menor ou igual a 0,1 (m².K)/W. As desvantagens são a manutenção da temperatura do anel de guarda, uma vez que é necessária uma temperatura constante e igual à temperatura média dos corpos-de-prova (ABNT, 2005); e o longo tempo de execução dos ensaios (NICOLAU; GÜTHS; SILVA, 2002).

O método fluximétrico mede apenas a resistência térmica, sendo a condutividade térmica encontrada via dedução por cálculo (Equação 1). As principais vantagens deste método são a simplicidade da medição, pois o regime permanente é atingido mais rapidamente (NUNES, 2013); e as diferentes possibilidades de configuração do equipamento (horizontal ou vertical, um ou mais fluxímetros, placa quente localizada na parte superior ou inferior).

Tendo em vista o presente cenário, optou-se por construir o equipamento parte pelo método da placa quente protegida, parte pelo método fluximétrico. Tal decisão foi tomada tendo como base restrições construtivas e facilidade na realização dos ensaios.

2.1 Descrição do equipamento

O condutímetro construído caracteriza-se por possuir: uma caixa de armazenamento; uma placa fria localizada na parte inferior da caixa; uma placa quente localizada na parte superior; cinco termopares do tipo J distribuídos em cada placa, para leitura da temperatura superficial; dez controladores de temperatura digitais, para leitura das temperaturas superficiais. A configuração projetada não possui fluxímetro nem anel de guarda. Uma imagem do equipamento e um esquema da montagem apresentam-se nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Condutímetro



Fonte: Os autores

Figura 2 – Esquema de montagem do equipamento



Fonte: Os autores

2.1.1 Caixa para armazenamento

A caixa de armazenamento foi construída de madeira MDF, com dimensões 52x52x35 cm. Seu interior foi forrado com lã de cerâmica para isolamento térmico (espessura 10 cm). O bom isolamento da caixa armazenadora visa suprir a ausência do anel de guarda, tomando-se como referência o equipamento utilizado por Bertolini (2014).

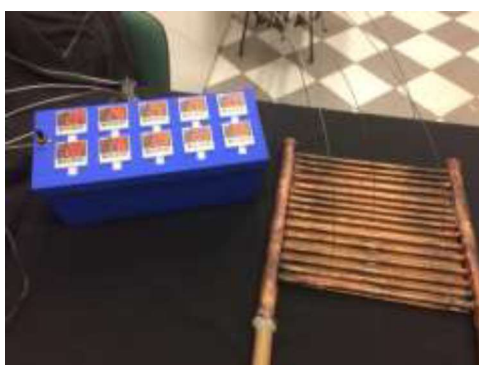
2.1.2 Placa fria

A placa fria foi feita em cobre e tem dimensões 30x30 cm. Este material foi escolhido por possuir baixa inércia térmica, alta resistência à corrosão e baixa densidade volumétrica, o ideal para condução térmica (MOURA, 1993). A função desta placa é manter uma temperatura baixa constante em uma das superfícies do corpo-de-prova (aproximadamente 20°C). Para garantir isso, foi projetada uma serpentina de resfriamento no formato de "pente", por onde pode-se garantir um fluxo de água constante à temperatura ambiente. Os

canais da serpentina têm 7 mm de diâmetro e espaçamento de 10 mm, garantindo espaço para a passagem dos termopares (Figura 3).

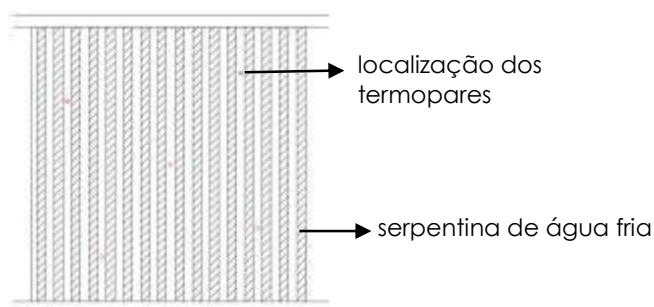
A localização dos termopares foi feita conforme a parte 4 da NBR 15220 (ABNT, 2005), em que se propõe um mínimo de quatro termopares para cada superfície, localizados simetricamente. Foram distribuídos quatro pontos a uma distância de $\frac{1}{4}$ do centro da placa e um ponto no centro (Figura 4).

Figura 3 – Placa fria



Fonte: Os autores

Figura 4 - Esquema da serpentina de água fria

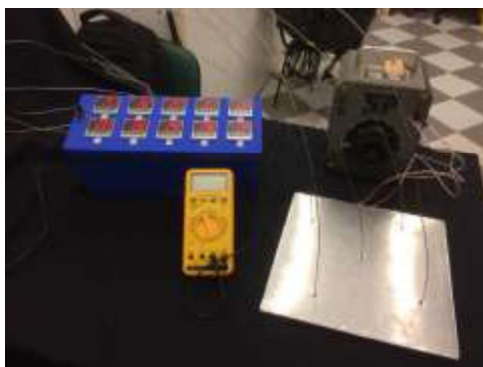


Fonte: Os autores

2.1.3 Placa quente

A placa quente também é constituída por cobre e tem dimensões 30x30 cm. Sua função é manter uma temperatura alta constante em uma das superfícies do corpo-de-prova (aproximadamente 50°C) e, assim, juntamente à placa fria, satisfazer à necessidade da presença de um gradiente constante de temperatura entre as superfícies do material ensaiado. Para isso, a placa foi acoplada a uma resistência aquecedora de alumínio de 18,7 Ω . Foram previstos cinco furos para passagem dos termopares, em posicionamento semelhante ao da placa fria (Figura 5).

Figura 5 - Placa quente



Fonte: Os autores

2.2 Calibração das placas quente e fria

Um teste inicial de calibração foi realizado no laboratório. Os termopares foram calibrados com base em um termopar de referência, utilizando-se três temperaturas (0°C , 40°C e 70°C), de modo a permitir o cálculo dos erros de cada termopar. Para calibração da placa quente, montou-se um sistema incluindo os termopares, os leitores digitais, a placa de cobre e a resistência térmica. O conjunto foi ligado a um multímetro para controle da voltagem. Partiu-se de uma voltagem inicial de 10 V e manteve-se voltagem constante até estabilização da temperatura superficial da placa. Após isso, foram realizados acréscimos graduais de 10 V. O experimento teve duração total de 10 h, com medições intervaladas até estabilização. Obteve-se, então, uma curva de calibração do sistema. Para a placa fria, o procedimento foi mais simples. Montou-se um sistema incluindo os termopares, os leitores digitais, a placa de cobre e a serpentina de água fria. Adicionou-se água corrente na serpentina e foram realizadas medições sucessivas de temperatura superficial.

2.3 Validação do experimento

Para validação dos resultados obtidos com o dispositivo experimental aqui proposto, foram realizados testes para determinação dos perfis de temperatura de um corpo-de-prova constituído por gesso comercial (Figura 6), cuja condutividade térmica está disponível na literatura. O processo de medição consistiu em partir de uma temperatura inicial uniforme, igual à temperatura ambiente, e no fornecimento de calor a uma taxa constante na placa quente, até atingir o regime permanente. Os ensaios simularam a exposição do material à temperatura ambiente e exposto à radiação solar (temperaturas máximas em torno de 60°C). Para o cálculo da condutividade térmica, mediu-se o fluxo de calor e a diferença de temperatura entre as faces da amostra. Assim, sabendo-se a espessura e a área do corpo-de-prova, calculou-se seu valor pela lei de Fourier (Equação 1). Os resultados foram comparados com dados fornecidos na tabela B3 da NBR 15220 (ABNT, 2005).

Figura 6 – Ensaio do gesso comercial



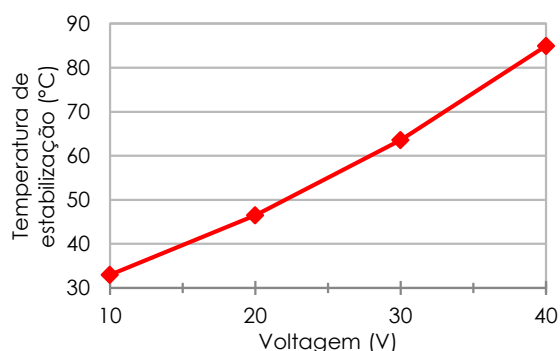
Fonte: Os autores

2 RESULTADOS

2.1 Calibração das placas quente e fria

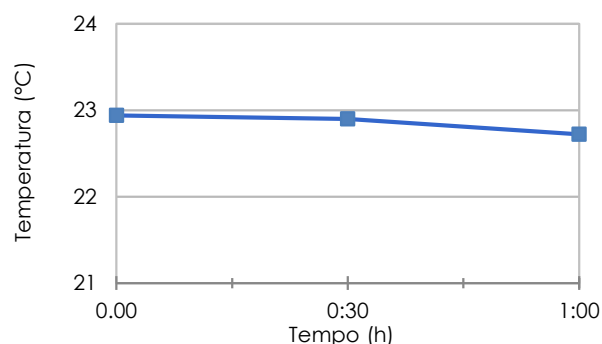
As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados da calibração das placas quente e fria, respectivamente. No caso da placa quente, o eixo das ordenadas apresenta as médias das temperaturas registradas pelos leitores dos termopares quando a temperatura estabilizou, para cada voltagem testada. Obteve-se a estabilização necessária para a condução de ensaios no condutímetro e selecionou-se a voltagem de 20 V para realização dos ensaios. No caso da placa fria, observou-se a estabilização da temperatura superficial da placa, em um período de 1 h de medições. A média de temperatura foi de 22,9°C e o desvio padrão foi de 0,1.

Figura 7 – Curva de calibração da placa quente



Fonte: Os autores

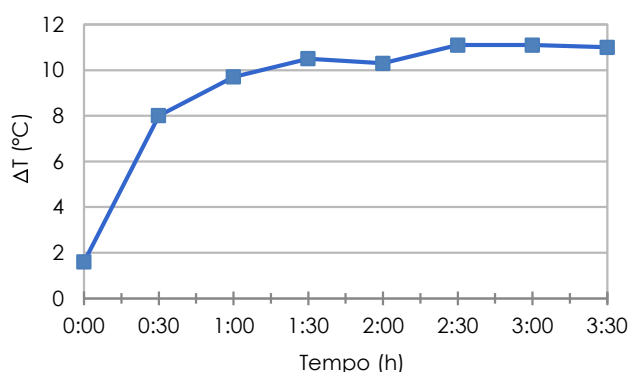
Figura 8 – Curva de calibração da placa fria



Fonte: Os autores

A Figura 9 apresenta os resultados da calibração do dispositivo já montado, mas ainda sem um corpo-de-prova. A estabilização na variação de temperatura entre as placas quente e fria foi obtida após 2,5 h, permanecendo em torno de 11,1°C com um desvio padrão de 0,06°C.

Figura 9 – Curva de calibração do dispositivo



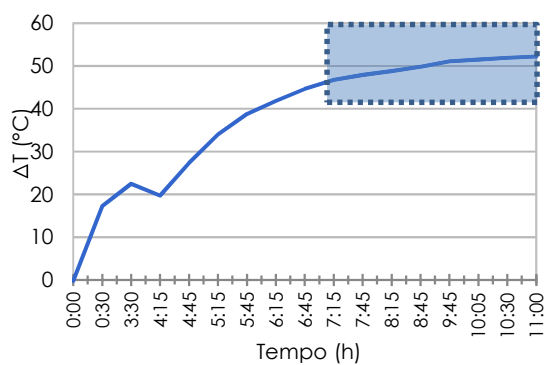
Fonte: Os autores

2.2 Ensaio do corpo-de-prova

Os ensaios para determinação da condutividade térmica do corpo-de-prova constituído de gesso comercial foram realizados com a resistência aquecedora a uma voltagem de 30 V, de forma a atingir uma temperatura em torno de 60°C na placa quente e uma diferença entre as temperaturas das faces do corpo-de-prova de 15 K a 20 K, conforme indica a NBR 15220 (ABNT, 2005). Notou-se uma maior estabilização do fluxo de calor a partir de 7 h de ensaio (Figura 10).

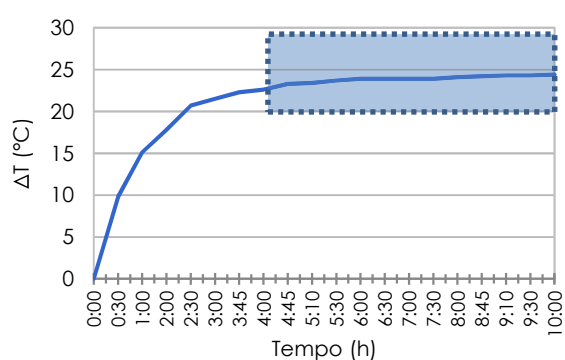
Um segundo teste foi realizado a resistência aquecedora a uma voltagem de 20 V (mesma voltagem usada na calibração do dispositivo). Notou-se uma maior estabilização do fluxo de calor a partir de 5 h de ensaio (Figura 11).

Figura 10 – Gradiente de temperatura do corpo-de-prova (30 V)



Fonte: Os autores

Figura 11 – Gradiente de temperatura do corpo-de-prova (20 V)



Fonte: Os autores

O cálculo da condutividade térmica indicou um valor de 0,2 W/(m.K) para ambos os ensaios, sendo o valor estipulado na NBR 15220 de 0,35 W/(m.K).

3 CONCLUSÕES

Os primeiros testes realizados no dispositivo proposto para medição de condutividade térmica de materiais mostraram um funcionamento adequado, sendo possível atingir um equilíbrio de temperatura após algumas

horas de ensaio. As simplificações propostas para o sistema não trouxeram alterações significativas no desempenho esperado, sendo a ordem de grandeza obtida nos resultados correta. Observou-se, no entanto, uma diferença entre o resultado de condutividade térmica obtido para o gesso comercial testado e o valor estipulado na NBR 15220 (ABNT, 2005). Faz-se necessária a realização de um teste com um corpo-de-prova padrão, testado em laboratório de referência, de forma a aferir com precisão possíveis erros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo nº2017/14991-0), pelo apoio financeiro ao desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BERTOLINI, M. S. **Painéis de resíduos madeireiros e de borracha de pneu associados à espuma poliuretana à base de mamona para aplicação como composições termoacústicas**. 256f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

KORTE A. C. J.; BROUWERS H. J. H.. Calculation of thermal conductivity of gypsum plasterboards at ambient and elevated temperature. **Fire and Materials**. n. 34, p.55–75, 2010.

MOURA, L. M. **Desenvolvimento de um protótipo de equipamento de placa quente protegida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.

NICOLAU, V. P.; GÜTHS, S.; SILVA, M. G. **Medição da condutividade térmica e do calor específico de materiais isolantes**. Anais... In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, IX. ENCIT, 2002.

NUNES, E. S. **Análise da condutividade térmica em rochas sedimentares**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2013.