

## Medidores de condutividade térmica fluxométricos: um estudo de prospecção

### Thermal conductivity heat flow meters: a prospection study

<sup>1</sup>Hare Kumaichi Onga de Jesus, <sup>2</sup>Ivan Apolonio Callejas, <sup>3</sup>Luciane Durante

<sup>1</sup>Mestrando no Programa de Pós-graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT) – Universidade Federal de Mato Grosso (hare.onga@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor Doutor no Departamento de Arquitetura e membro PROFNIT – Universidade Federal de Mato Grosso (ivan.callejas@ufmt.br)

<sup>3</sup>Professora Doutora no Departamento de Arquitetura e membro PROFNIT – Universidade Federal de Mato Grosso (luciane.durante@ufmt.br)

---

**RESUMO:** Este artigo aborda a necessidade de reavaliar o ambiente construído diante das mudanças provocadas pelo aquecimento global, enfatizando a importância de adotar materiais construtivos que melhorem o desempenho térmico e se adequem às condições bioclimáticas locais. No entanto, no Brasil, a falta de ensaios para determinar as propriedades térmicas dos materiais construtivos é uma limitação devido ao alto custo e à escassez de equipamentos disponíveis em laboratórios privados e universidades. Isso resulta em avaliações imprecisas, utilizando valores normativos que não representam adequadamente o comportamento térmico real dos materiais. O objetivo deste estudo é investigar o desenvolvimento de medidores de condutividade térmica baseados no método fluxométrico, uma alternativa mais simples e econômica em comparação ao método tradicional da placa quente protegida, utilizado para medir a condutividade térmica dos materiais. A metodologia empregada envolveu revisão sistemática e busca por patentes anteriores, analisando 20 publicações científicas e 70 depósitos de patentes. Os resultados indicaram que três publicações científicas abordaram o desenvolvimento de medidores de condutividade térmica baseados no método fluxométrico, obtendo resultados satisfatórios em termos de precisão de medição. Adicionalmente, duas patentes estavam relacionadas a aprimoramentos funcionais em um medidor de condutividade térmica fluxométrico. Conclui-se que o desenvolvimento de equipamentos voltados à medição de propriedades térmicas, especialmente aqueles baseados no método fluxométrico, apresenta um alto potencial de contribuição para estudos científicos sobre o desempenho térmico de materiais de construção. Essa área é considerada tecnologicamente relevante e está em ascensão. Portanto, investir em pesquisa e desenvolvimento de tais equipamentos pode ser uma estratégia importante para aprimorar a eficiência térmica das edificações e contribuir para a mitigação dos efeitos do aquecimento global.

**Palavras-chave:** Conforto térmico. Desempenho térmico. Resistência térmica.

**ABSTRACT:** This article addresses the need to reassess the built environment in light of the changes caused by global warming, emphasizing the importance of adopting construction materials that enhance thermal performance and are suitable for local bioclimatic conditions. However, in Brazil, the lack of tests to determine the thermal properties of construction materials is a limitation due to the high cost and scarcity of equipment available in private laboratories and universities. This leads to inaccurate assessments, using normative values that do not adequately represent the real thermal behavior of the materials. The objective of this study is to investigate the development of thermal conductivity meters based on the fluxometric method, a simpler and more cost-effective alternative compared to the traditional guarded hot plate method used for measuring the thermal conductivity of materials. The methodology involved a systematic review and search for prior patents, analyzing 20 scientific publications and 70 patent filings. The results indicated that three scientific publications addressed the development of thermal conductivity meters based on the fluxometric method, obtaining satisfactory results in terms of measurement accuracy. Additionally, two patents were related to functional improvements in a fluxometric thermal conductivity meter. In conclusion, the development of equipment for measuring thermal properties, especially those based on the fluxometric method, holds great potential for scientific studies on the thermal performance of construction materials. Investing in research and development of such equipment can be a crucial strategy to enhance the thermal efficiency of buildings and contribute to the mitigation of the effects of global warming.

**Keywords:** Thermal comfort. Thermal performance. Thermal resistance.

---

## 1. INTRODUÇÃO

O comportamento térmico de um edifício é caracterizado pela resposta física da edificação, mediante sua exposição ao clima do local em que localiza e quando seus ambientes são submetidos ao uso, destacando-se a geração de calor interno advindo da presença de pessoas e equipamentos (LAMBERTS et al., 2010). Esta resposta pode ser identificada pela variação da temperatura e umidade do ar dos ambientes internos, que dependem das condições climáticas externas, da manipulação das esquadrias, acionamento de lâmpadas e de equipamentos de condicionamento ou dos fluxos de calor transmitidos através das envoltórias. Quando estes fatores são confrontados com pré-requisitos que enfocam o atendimento das exigências dos usuários, tem-se uma avaliação do desempenho térmico (LAMBERTS et al., 2010).

De acordo com a norma técnica NBR 15.575-1 (ABNT, 2021), o desempenho térmico de edificações depende dos materiais construtivos das paredes e coberturas, das áreas envidraçadas, da ventilação, das cargas térmicas internas (pessoas, iluminação e equipamentos) e da maneira como se manipulam as aberturas, considerando os ambientes em uso. Daí a importância do adequado desempenho térmico de uma edificação, pois isto repercute no conforto dos usuários, contribuindo ainda para a economia de energia (CBIC, 2013). Por isso, de acordo com Guarda, Durante e Callejas (2020), os estudos sobre o desempenho térmico das edificações são muito importantes e, nesse sentido, os materiais que empregados nas envoltórias necessitam de ter suas propriedades térmicas adequadamente caracterizadas, com vistas a projetar edificações adequadas ao clima onde se inserem (NICOLAU, GÜTHS e SILVA, 2002). Além disso, a determinação das propriedades térmicas do envelope da edificação é de suma importância, uma vez que auxiliam as auditorias e o diagnóstico do consumo energético das construções existentes (FICCO et al., 2015).

Para orientar os projetistas quanto à escolha e propriedades térmicas dos elementos construtivos, a norma utilizada no Brasil é a NBR 15.220 (ABNT, 2005a), que traz na sua segunda parte, métodos de cálculos de propriedades térmicas de paredes e coberturas e, na quarta e quinta partes, os métodos de obtenção da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida e pelo método fluxométrico, respectivamente.

A condutividade térmica ( $\lambda$ ) é um parâmetro de entrada nesses cálculos e indica a quantidade de calor que flui através de uma área unitária, num intervalo de tempo unitário, quando um gradiente de temperatura unitário é estabelecido (KREITH; BOHN; MANGLIK, 2012). É utilizada para auferir os ganhos ou perdas térmicas nos corpos e, em especial, por parte dos elementos da envoltória da edificação (em W/m.K ou W/m°C).

Sobre o método de obtenção da condutividade térmica pelo método da placa quente protegida, padronizado pela NBR-15.220-4 (ABNT, 2005b), permite a determinação da condutividade térmica através da medição do gradiente de temperatura médio estabelecido por entre o corpo-de-prova, a partir de certo fluxo de calor em condições de regime permanente. O fluxo de calor é aplicado da placa quente para a placa fria, numa direção perpendicular às superfícies das amostras e a condutividade térmica aparente é determinada através do fluxo de calor estimado com o calor introduzido, da diferença de temperatura medida entre as placas e pela espessura das amostras (SOARES et al., 2019). Uma das grandes vantagens de se utilizar este método é o fato do mesmo ser primário, ou seja, não são necessárias amostras de referência efetuar sua calibração (BOGO, 2014). Além dessa, Soares et al. (2019) relaciona outras vantagens, como a possibilidade da utilização de vários elementos e materiais, a simplicidade no design e sua precisão. Como desvantagem, destaca-se o elevado tempo necessário até se alcançar um gradiente de temperatura estacionário sobre a amostra ensaiada (YÜKSEL, 2016) e a limitação de aplicabilidade a materiais com condutividade maior que 2W/mK (SOARES et al., 2019; EITHUN, 2012; ABNT, 2005c).

Já o método fluxométrico, padronizado pela norma NBR-15.220-5 (ABNT, 2005c), se dá por meio da aplicação de uma densidade de fluxo de calor constante através da zona central de medição de dois fluxímetros e da zona central de um corpo de prova em forma de placa. O dispositivo para laboratório assemelha-se à configuração do aparelho da placa quente protegida. Porém, ao invés de dispor de um aquecedor principal, transdutores de fluxos são utilizados para medir o fluxo de calor através da amostra em ensaio (YÜKSEL, 2016). Segundo Eithun (2012), este método é adequado para materiais de baixa condutividade térmica, aplicável à amostras de pouca espessura na direção do fluxo de calor e com grande área de seção transversal. No entanto, para materiais com alta condutividade térmica, um corpo de prova mais espesso é necessário para possibilitar medição da diferença de temperatura entre as superfícies da amostra. A principal desvantagem é a incerteza de medição mais elevada em relação ao princípio da placa quente protegida e a dependência de amostras previamente calibradas.

Ressalta-se que os equipamentos de medição da condutividade térmica comercializados no Brasil são importados e seus preços estabelecidos em moeda estrangeira (usualmente dólar), variando, portanto, em função da taxa de câmbio. Em razão disso, seu custo é elevado, o que dificulta a aquisição. Por isso, os projetistas, durante a etapa de projeto das edificações, usualmente adotam as propriedades térmicas normatizadas pela NBR 15.220-4 (ABNT, 2005b) e NBR 15.220-5 (ABNT, 2005c), o que muitas vezes pode não representar adequadamente o comportamento térmico dos materiais especificados.

Para contornar essa dificuldade, uma alternativa seria a existência de um equipamento nacional. A partir dessa perspectiva, a pesquisa avalia se é possível desenvolver um medidor de condutividade térmica e com um enfoque no método fluxométrico, em razão deste permitir obter a condutividade térmica mais rapidamente e com maior simplicidade de montagem em relação ao princípio da placa quente protegida (NICOLAU, GÜTHS e SILVA, 2002). Para isso, deve-se recorrer aos aspectos de inovação, que segundo o Manual de Oslo (OCDE, 2006), podem ser utilizados os novos conhecimentos, tecnologias ou basear-se em novos usos ou combinações de tecnologias existentes.

Diante disso, objetiva-se com esse artigo, investigar o estado da arte do desenvolvimento de medidores de condutividade térmica baseados no método fluxométrico. A contribuição do estudo está na apresentação do panorama mundial sobre medidores de condutividade a partir do uso da técnica fluxométrica e sobre as oportunidades de desenvolvimento tecnológico desse tipo de equipamento.

## 2. METODOLOGIA

O estudo se desenvolve por meio de revisão sistemática de literatura e de pesquisa de anterioridade de registros de patentes.

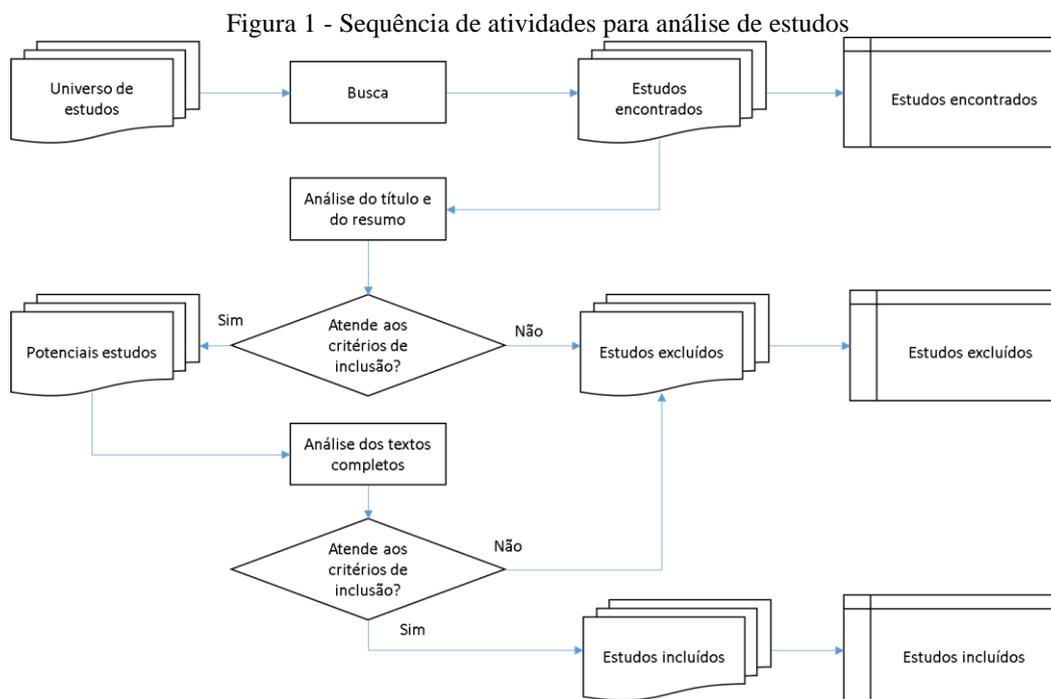
Revisões sistemáticas da literatura são utilizadas para mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos relevantes acerca de uma questão ou tópico de pesquisa específico (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015). Para identificar o atual estágio de desenvolvimento das técnicas aplicadas na medição da condutividade térmica de materiais e os tipos de equipamentos já desenvolvidos pela comunidade científica, formulou-se a seguinte pergunta problema: Quais as alternativas para o desenvolvimento de medidores de condutividade térmica baseados no método fluxométrico foram abordadas na literatura científica e em patentes depositadas?

Foram utilizadas a plataforma do Google Acadêmico e o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, com uma janela temporal de 2002 a 2022. As buscas envolveram descritores para a utilização em suas respectivas plataformas, utilizando-se de expressões exatas e de operadores booleanos “AND” e “OR” (Tabela 1).

Tabela 1: Plataformas de buscas e respectivas expressões de busca

Base de dados	Descritores	Publicações
Google Acadêmico	“condutividade térmica” AND “fluxímetros” OR “equipamento” OR “dispositivo”	67
	“Heat flow meter” AND apparatus	25
	“Heat flux meter” AND apparatus	2
	“HFM” AND apparatus	24
CAPES	“Heat flow meter” AND design	81
	“Heat flow meter” AND construction	141
	“Heat flow meter” AND project	11
	“Heat flow meter” AND development	49
	“Heat flow meter” AND feasibility	8
	“Design AND construction” AND “thermal conductivity” AND “apparatus”	7

Para a operacionalização o processo de busca dos estudos, seleção e codificação para posterior avaliação, seguiu-se a sequência proposta em Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), conforme Figura 1.



Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015)

Classificaram-se as publicações pré-selecionadas em três dimensões, seguindo-se o método apresentado por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015) em alta, média ou baixa. Essas classificações ranqueiam os critérios da qualidade da execução dos estudos, relativo ao atendimento às normas técnicas para o tipo de equipamento proposto, à adequação à questão da revisão e à adequação ao foco da revisão, o que permite atribuir uma avaliação geral para o estudo, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos estudos segundo critérios de adequação normativa e questão/foco da revisão.

Adequação normativa	Adequação à questão da revisão	Adequação ao foco da revisão	Classificação do estudo
Alta	Alta	Alta	<b>Alta</b>
Alta	Alta	Média	Média
Alta	Média	Média	Média
Média	Média	Média	Média
Alta	Alta	Baixa	Baixa
Alta	Média	Baixa	Baixa
Média	Média	Baixa	Baixa
Média	Baixa	Baixa	Baixa
Baixa	Baixa	Baixa	Baixa

Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015)

Para um estudo obter uma classificação “alta” em relação ao tema deste estudo, considerou-se que para a adequação normativa, o trabalho deveria apresentar uma metodologia que atendesse aos critérios de obtenção da condutividade térmica pelo método fluxométrico, em concordância com a ISO 8301 (ISO, 1991), a NBR 15.220-5 (ABNT, 2005c) e a ASTM C-518-10 (ASTM, 2010) ou ASTM C-518-15 (ASTM, 2015). Paralelamente, deveria atender à adequação da questão da revisão, ou seja, o trabalho deveria se restringir ao desenvolvimento de um equipamento de medição da condutividade térmica baseado no método fluxométrico. Quanto à adequação ao foco da revisão, procurou-se selecionar os trabalhos cuja incerteza de medição dos equipamentos se aproximassem com os comercialmente consagrados.

Acerca da busca de anterioridade patentária, de acordo com Garcia (2006), a patente apresenta uma dupla funcionalidade: ser fonte de informação e de representação do conhecimento gerado. Por isso, a busca por anterioridade foi realizada com intuito de prospectar as características relevantes dentro das patentes depositadas. Diante disso, foi realizada em bases de patentes dos Estados Unidos, China, Japão, Coreia do Sul, Austrália, Grã-Bretanha, de Países da União Européia e Brasil, uma busca por dados referentes ao desenvolvimento medidores de condutividade térmica fluxométricos ou *heat flow meters* (HFM). Como estratégia de busca foram definidos descritores e expressões apresentados na Tabela 2, que foram utilizados na plataforma Busca-WEB do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) e na aplicação Orbit Intelligence (QUESTEL, 2022).

Tabela 2: Descritores para busca de anterioridade

Base de dados	Descritores	Patentes
INPI	Condutividade térmica	36
	Fluxímetros	0
	Fluxométrica	0
	Fluxométrico	0
ORBIT	Heat-flow meter	34

Utilizaram-se inicialmente descritores no campo de busca de títulos na plataforma do INPI. Posteriormente com intermédio de um software de planilha eletrônica, foram filtrados os resultados, os que estavam relacionados com a Classificação Internacional de Patentes (IPC G01 - Medição, Teste).

Com o Orbit Intelligence (QUESTEL, 2022), restringiu-se a busca para o termo “Heat Flow Meter” com operadores booleanos AND e as subclassificações IPC. Foram selecionados o IPC G01N-025, que de acordo com a World Intellectual Property Organization (WIPO), representa a medição/teste por investigação ou análise dos materiais pela determinação de suas propriedades químicas ou físicas por meios térmicos e, o IPC G01K-007, que se refere à medição/teste medição de temperatura; medição da quantidade de calor; elementos termo

sensíveis não incluídos em outro local e termômetros baseados no uso de elementos elétricos ou magnéticos diretamente sensíveis ao calor (WIPO, 2021).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De um universo de 415 publicações encontradas, vinte trabalhos foram pré-selecionados (Quadro 2) e classificados conforme a metodologia proposta, analisando-se a aderência ao desenvolvimento de um equipamento de condutividade térmica e o atendimento das três dimensões do critério metodológico adotado.

Quadro 2 - Avaliação das publicações

<b>Autor (Ano)</b>	<b>Tipo da publicação</b>	<b>Adequação normativa</b>	<b>Adequação à questão da revisão</b>	<b>Adequação ao foco da revisão</b>	<b>Avaliação do estudo</b>
Murata et al. (2018)	Artigo	Média	Média	Alta	Média
<b>Bogo (2014)</b>	<b>Dissertação</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>
Silva e zanette (2021)	Dissertação	Alta	Média	Alta	Média
Pinto (2015)	Dissertação	Média	Alta	Alta	Média
Bertoti (2019)	Dissertação	Média	Alta	Alta	Baixa
<b>Yang et al. (2019)</b>	<b>Artigo</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>
Sánchez-calderón (2022)	Artigo	Alta	Baixa	Média	Baixa
Cortellessa, gino e lacomini (2019)	Artigo	Alta	Média	Alta	Média
Girardi et al. (2019)	Artigo	Alta	Baixa	Média	Baixa
Noonan e jonas (2014)	Artigo	Alta	Baixa	Média	Baixa
Arpino et al. (2011)	Artigo	Alta	Média	Alta	Média
Wakili, binder e vonbank (2003)	Artigo	Média	Média	Média	Média
Cha, seo e kim (2012)	Artigo	Média	Baixa	Média	Baixa
Meng et al. (2015)	Artigo	Alta	Média	Média	Média
Reddy e jayachandran (2017)	Artigo	Média	Média	Alta	Média
<b>Cuenca et al. (2021)</b>	<b>Artigo</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Alta</b>
Wang, xiao e dai (2017)	Artigo	Alta	Alta	Média	Média
Dubois e lebeau (2015)	Artigo	Média	Média	Alta	Média
Li, zhang e ju (2012)	Artigo	Média	Média	Média	Média
Castán-fernández et al. (2018)	Artigo	Média	Baixa	Baixa	Baixa

Foram discutidos somente os de alta relevância, por atenderem simultaneamente aos critérios de atendimento normativo acerca dos medidores de condutividade térmica, ou seja: obedecem a norma ASTM C-518-10 (ASTM, 2010), se restringem ao método fluxométrico e apresentam incertezas de medição dentro do esperado para esse princípio de medição. Nesse sentido, destacaram-se os trabalhos de Bogo (2014), Yang et al. (2019) e Cuenca et al. (2021).

Bogo (2014) propôs o desenvolvimento de um equipamento compacto para medição de condutividade térmica baseado no método fluxométrico, atendendo aos requisitos da

norma americana ASTM C-518-10 (2010). Foi utilizada a configuração simétrica (dois fluxímetros e uma amostra em ensaio). Foram construídos transdutores de fluxo com dimensões de 50x50mm com espessura máxima de 300µm e utilizados quatro módulos peltier totalizando uma carga total de 91,2W e que resultam numa potência máxima de resfriamento de 50W e três aquecedores planares que resultam numa potência total de 61,7W para a placa quente. As placas fria e quente possuem dimensões de 300x300x25mm e são compostas de alumínio. As temperaturas de ambas as placas foram obtidas por intermédio de dois termopares tipo T posicionados um em cada lado do fluxímetros. Além disso, foi implementado um controle de malha aberta de controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID) e componentes intermediários para ganho de corrente para acionar os aquecedores planares e os módulos peltier. Foi desenvolvido um sistema de medição da espessura da amostra através de extensômetros e quatro motores de passo, que promovem a movimentação da placa quente sobre a amostra.

Ainda, de acordo com Bogo (2014), utilizando-se de amostras de fibra de vidro com medidas aproximadas de 303x301x37mm, amostras de perspex medindo 305x305x50mm e poliestireno também com 305x305x50mm, todas calibradas pelo National Physical Laboratory (NPL), foi possível verificar que a exatidão, comparada com os resultados dos respectivos certificados de calibração das amostras, se mostrou adequada, com uma incerteza de medição entre  $\pm 3,2\%$  e  $\pm 3,6\%$ .

Yang et al. (2019) propuseram o desenvolvimento de um medidor de condutividade térmica para amostras de maiores dimensões (900x900mm), a partir do uso de fluxímetros HF-30S da EKO Instruments com dimensões de 300x300mm, utilizando a configuração simétrica e seguindo os padrões normativos da ISO 8301 (ISO, 1991) e da ASTM C518-10 (ASTM, 2010). Nesse dispositivo, as placas quentes e frias possuem dimensões de 900x900x4mm compostas de camadas de baquelite e alumínio, contemplando um par de fluxímetros em cada placa e um total de 10 termômetros de resistência de platina. Ambas as placas possuem fluido de etileno-glicol que circulam sobre canais da parte de alumínio das placas para o controle de temperatura. A medição da espessura é realizada através de um sensor de posição e quatro motores de passo, que introduzem movimentos à placa quente sobre a amostra. De acordo com os autores, o protótipo desenvolvido apresentou uma incerteza de medição expandida relativa de  $\pm 1,4\%$  para a condutividade térmica de uma amostra de placa de fibra de vidro resinada com 900x900x35,8mm com valor de referência certificado pelo Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM).

Mais recentemente, Cuenca et al. (2021) desenvolveram um medidor de condutividade térmica portátil por meio da técnica fluxométrica, para amostras de até 60x60x14mm. Também, baseado na norma ASTM C-518-10 (ASTM, 2010), este equipamento adotou a configuração simétrica, empregando fluxímetros FHF01 da Hukseflux, que possuem espessura fina e uma área sensora de  $9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ . A placa quente recebeu um aquecedor planar resistivo da Hukseflux enquanto na placa fria foi introduzido um módulo peltier para arrefecimento. As placas quente e fria se configuram como prismas quadrados com arestas de 60mm e espessuras de 5mm. Foi implementado um controle PID para regular as temperaturas desejadas nas placas quente e fria. Os resultados reportados na medição de amostras de adobe e de drywall, onde o valor de referência do adobe foi obtido pelo Centro Nacional de Metrologia (CENAM – México) e a do drywall considerada foi a informada pelo fabricante do material.

Para amostra de adobe com espessura de 13,9 mm e para a amostra de drywall de 12,5mm foram obtidas incertezas de medição da condutividade térmica de  $\pm 0,014 \text{ W/m.K}$  e de  $\pm 0,013 \text{ W/m.K}$ , respectivamente (CUENCA et al., 2021). Os trabalhos classificados demonstraram que as incertezas de medição da condutividade térmica ficaram abaixo de  $\pm 5\%$ . Entretanto, as normas ISO 8301 (ISO,1991), NBR 15.220-5 (ABNT, 2005b) e a ASTM C-

518-15 (ASTM, 2015) não estabelecem limites máximos de exatidão ou de incerteza de medição.

Apesar da ISO 8301 (ISO, 1991), da NBR 15.220-5 (ABNT, 2013) e da ASTM C-518-10 (ASTM, 2010) não mencionarem limites máximos de incerteza da medição para esse princípio de medição, é consenso que estando dentro  $\pm 5\%$ , as medições estarão adequadas, pois o estudo interlaboratorial, efetuado por Salmon e Tye (2000), estabelece uma concordância geral para um valor de incerteza de medição dentro de  $\pm 5\%$ , grande prevalência dos medidores de condutividade térmica fluxométrico com incertezas entre  $\pm 2\%$  a  $\pm 3\%$ . Czichos, Saito e Smith (2011) e Yüksel (2016) associam a mesma concordância caso a incerteza se enquadre dentro do intervalo de  $\pm 3\%$  a  $\pm 10\%$ .

Verificou-se que, como um dos critérios metodológicos visou o desenvolvimento ou a construção de um equipamento baseado no método fluxométrico, a quantidade de publicações que atendiam esse critério ficou restrita, pois boa parte das publicações científicas envolve a utilização de medidores de condutividade térmica consagrados comercialmente.

Já na busca de anterioridade na plataforma do INPI foram localizados separados os resultados obtidos com a expressão “condutividade térmica” no título com o código IPC G01 (Quadro 3).

Quadro 3 - Processos de depósito de patentes com IPC G01

Pedido	Dt. Depósito	Título	IPC
BR 10 2016 000007 6	04/01/2016	Processo para a determinação da condutividade térmica de líquidos utilizando o efeito peltier	G01N 25/18
PI 0914255-0	01/12/2009	Dispositivo para a determinação da condutividade térmica e processos de aplicação do mesmo	G01N 25/18
PI 9000506-6	06/02/1990	Aparelho e processo para a medição de condutividade térmica de gás de teste	G01N 25/32
MU 6200308-9	12/03/1982	Aparelho eletrônico para teste de diamante, através de condutividade térmica	G01N 27/18

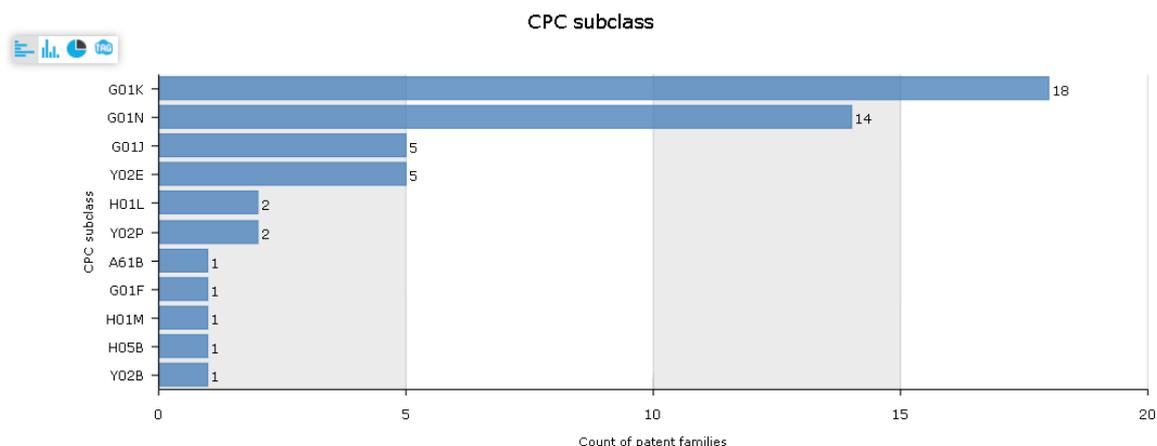
Para encadear o processo encontrado ao assunto dessa pesquisa, filtrou-se a Classificação Internacional de Patentes (IPC) com apoio de um software de planilha eletrônica de onde se pode perceber que tal processo se relaciona ao código IPC G01 (Medição, Teste).

Foram separados os resultados voltados ao IPC G01N25, este relacionado à investigação ou análise dos materiais pela determinação de suas propriedades químicas ou físicas e suas subclassificações (G01N 25/18: investigação de condutividade térmica; G01N 25/32: usando elementos termoeletrônicos; G01N 27/18: causada por mudança da condutividade térmica de um material circundante a ser testado) (WIPO, 2022).

Nenhum dos quatro processos tratam do desenvolvimento ou construção de um medidor de condutividade térmica através do método fluxométrico, uma vez que o pedido da BR102016000007-6 se trata de uma patente voltada à medição da condutividade térmica em líquidos, a PI0914255-0 se refere a uma patente voltada à medição da condutividade térmica em solos com a finalidade de determinar o seu potencial produtivo, a PI9000506-6 está voltada a medição de condutividade térmica de gases enquanto a MU6200308-9 serve para a determinação da autenticidade de diamantes através da condutividade térmica. Os demais termos de busca “fluxométrico”, “fluxométrica” e “fluxímetros” não retornaram resultados na base do INPI.

Com a aplicação o Orbit Intelligence (QUESTEL, 2022), os registros foram organizados por subgrupos de Classificação Cooperativa de Patentes (CPC), com suas quantidades representadas na Figura 2.

Figura 2 - Filtro por classificação CPC



Fonte: Dados gerados pelo Orbit Intelligence (QUESTEL, 2022)

Ao se conduzir uma filtragem por meio dos códigos G01K e G01N, constatou-se que quatro deles tiveram relevância com o tema central da busca, voltado para o desenvolvimento de equipamentos para medição da condutividade térmica (Quadro 4).

Quadro 4 - Resultados da busca no ORBIT

Título	Data de publicação	Documento	Observações
Thermal conductivity measuring apparatus	20/04/2012	KR101135151	Medidor de condutividade térmica fluxométrico utilizando módulo Peltier como fluxímetro
Apparatus and method for measuring thermal conductivity of fluid	31/03/2016	KR20160035188	Medição de condutividade térmica de fluidos
Uniform-temperature heating device for heat conductivity testing	31/03/2020	CN110940696	Dispositivo para aquecimento uniforme da placa quente em equipamentos de condutividade térmica
Apparatus using cryo-fluid cooled heat sink to determine thermal conductivity of materials	25/08/2020	US10753896	Método da placa quente protegida com resfriamento criogênico

Uma análise mais detalhada revelou que somente a patente depositada na Coreia do Sul sob o código KR101135151 tratava de um medidor de condutividade térmica por meio da técnica fluxométrica. Ainda, introduzia um diferencial no desenvolvimento do equipamento com a substituição do transdutor de fluxo de calor convencional pelo dispositivo denominado de módulo peltier, que gera uma em força eletromotriz (f.e.m.) por entre seus terminais positivo e negativo quando há um gradiente de calor sendo transferido por entre as superfícies de seu módulo. Outros dois módulos peltier foram utilizados como elementos de aquecimento e arrefecimento das placas quente e fria, respectivamente. A proteção foi garantida somente no país de origem, no caso para a Coreia do Sul e atualmente já se encontra extinta.

A patente KR20160035188, também depositada na Coreia do Sul, não aborda propriamente o método fluxométrico para materiais sólidos. O princípio de medição se dá pelos valores medidos de calor dissipado pelos resistores imersos em vários fluidos diferentes e com isso faz-se uma comparação entre os valores obtidos e com isso calcula-se a condutividade térmica. A proteção foi garantida somente no país de origem e já se encontra descontinuada.

A patente depositada na China, sob o código CN110940696, trouxe como inovação a melhoria do sistema de aquecimento de placas quentes da técnica fluxométrica, onde se

reorganizaram os componentes termoelétricos que realizam o aquecimento no interior do dispositivo, com vistas à garantir a uniformidade do aquecimento da superfície que fica em contato com a amostra em ensaio.

A patente US10753896 não adere foco da pesquisa que busca equipamentos desenvolvidos pela técnica fluxométrica pois, apesar de ter o em seu nome o princípio fluxométrico, essa invenção atende ao padrão da norma ASTM E1530-19 (2019), que avalia a resistência térmica de materiais pelo método protegido de medição de fluxo de calor. Se trata de um equipamento onde a amostra de material é submetida à um alto gradiente de temperatura, induzido por aquecimento elétrico de uma extremidade e resfriamento da outra extremidade. Em contato direto com a amostra em ensaio, em ambas as extremidades, estão pedaços de um material bem caracterizado que são pressionados por um atuador eletromecânico que comprime os materiais através de uma mola calibrada. O curso dessa mola é indicado por um transdutor de deslocamento linear. Daí o dissipador de calor é formado por uma cavidade interna na qual o dióxido de carbono líquido é injetado através de um capilar de forma controlada.

Além das quatro patentes citadas, verificou-se que não houve grande quantidade de patentes depositadas coincidentes com a questão e o foco da revisão sistemática. Isso pode ser decorrente da obtenção de produtos que não apresentaram uma maturidade tecnológica suficientemente atrativa para originar oportunidades de negócios ou por estarem inseridos numa condição de “estado da técnica”.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os trabalhos de Bogo (2014) e Yang et al. (2019), discutidos na revisão sistemática, são bastante úteis para embasar o desenvolvimento de um equipamento de medição da condutividade térmica baseado no método fluxométrico, trazendo possibilidades de adaptações para a redução das incertezas de medição. Não obstante, o trabalho de Cuenca et al. (2021) é bastante pertinente na finalidade de se reduzir o tamanho físico do equipamento para permitir a utilização de amostras com menores dimensões, o que inerentemente reduz o custo de desenvolvimento.

Em se tratando dos dados obtidos a partir da busca de anterioridade, a patente KR101135151 se mostrou bastante original e promissora na utilização de módulos peltier trabalhando como fluxímetros, fato que, também, permite uma montagem mais compacta e a possibilidade um custo mais acessível, ao invés do uso de transdutores de fluxo de calor comerciais. Contudo, a qualidade dos módulos peltier deve ser aferida para que não existam prejuízos na precisão da medição da condutividade térmica.

No quesito de melhoramento da performance do equipamento, a patente CN110940696, propõe o desenvolvimento de uma placa quente que proporciona um aquecimento mais uniforme na amostra a ser ensaiada, com vistas a garantir uma maior precisão na medição da condutividade térmica dos materiais.

Por fim, o conteúdo dos trabalhos de Bogo (2014), Yang et al. (2019) e Cuenca et al. (2021), bem como das patentes KR101135151 e CN110940696, indicam que é possível desenvolver equipamentos que possibilitem a caracterização das propriedades térmicas dos materiais para contribuir com o acréscimo de estudos de desempenho térmico com dados de medição da condutividade térmica associados aos da utilização de valores padronizados em norma.

Como perspectiva futura é oportuna a execução uma prospecção tecnológica sobre o método da placa quente protegida, que apesar de ter a desvantagem de resultar em ensaios mais demorados para a determinação da condutividade térmica, é um dos principais métodos de obtenção da condutividade térmica dos materiais.

## 5. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C518-10**: Standard Test Method for Steady-state Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. ASTM International, 2010.

\_\_\_\_\_. **C518-15**: Standard Test Method for Steady-state Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. ASTM International, 2015.

\_\_\_\_\_. **E1530-19**: Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique. ASTM International, 2019.

ARPINO, F. et al. **Design of a calibration system for heat flux meters**. International Journal of Thermophysics, v. 32, p. 2727-2734. Springer, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-4**: Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-5**: Desempenho térmico de edificações Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxométrico. Rio de Janeiro, 2005c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

BERTOTI, Angélica. **Adaptação de técnica experimental para determinação de condutividade térmica de materiais com potencial para isolamento térmico**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 03 dez. 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/2332>. Acesso em: 15 nov. 2022.

BOGO, Damian Larsen. **Desenvolvimento de um equipamento compacto para medição e condutividade térmica baseado no método fluxométrico**. 89p. Dissertação (mestrado) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. CBIC. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013, 308p. 2 ed. Disponível em: [https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia\\_da\\_Norma\\_de\\_Desempenho\\_2013.pdf](https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_da_Norma_de_Desempenho_2013.pdf). Acesso em: 05 out. 2022.

CASTÁN-FERNÁNDEZ, C. et al. Design, **Construction and Commissioning of an Apparatus for Measuring the Thermal Conductivity of Geothermal Grouting Materials Based on the Transient Hot Wire Method**. The 2nd International Research Conference on Sustainable Energy, Engineering, Materials and Environment, 5 nov. 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2504-3900/2/23/1496>. Acesso em: 11 nov. 2022.

CHA, Junghoon; SEO, Jungki; KIM, Sumin. **Building materials thermal conductivity measurement and correlation with heat flow meter, laser flash analysis and TCi**. Journal of thermal analysis and calorimetry, v. 109, n. 1, p. 295-300, 2012.

CORTELLESSA, Gino; IACOMINI, Luigi. **A novel calibration system for heat flow meters: Experimental and numerical analysis**. Measurement, v. 144, p. 105-117. Elsevier, 2019.

CUENCA, M. H. et al. **Design and construction of a portable apparatus to measure thermal conductivity**. Journal of Physics: Conference Series - 1841. IOP Publishing, 2021. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1841/1/012009/pdf>. Acesso em: 17 set. 2021

CZICHOS, Horst; SAITO, Tetsuya; SMITH, Leslie E. (Ed.). **Springer handbook of metrology and testing**. Berlim: Springer-Verlag, 2011.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JUNIOR, José A. Valle. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

DUBOIS, Samuel; LEBEAU, Frédéric. **Design, construction and validation of a guarded hot plate apparatus for thermal conductivity measurement of high thickness crop-based specimens**. Materials and structures, v. 48, p. 407-421. Springer, 2015.

EITHUN, Camila Foyn, **Development of a thermal conductivity apparatus: Analysis and design**. Dissertação (mestrado). Norwegian University of Science and Techonlogy. Trondheim - Noruega, 2012.

FICCO, Giorgio et al. **U-value in-situ measurement for energy diagnosis of existing buildings**. Energy and Buildings, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.071>. Acesso em: 17 set. 2021.

GARCIA, Joana Coeli Ribeiro. **Os paradoxos da patente**. DataGramZero–Revista de Ciência da Informação, v. 7, n. 5, 2006.

GIRARDI, Graziela; MUKHOPADHYAYA, Phalguni; ZALOK, Ehab. **Thermal conductivity measurement of smaller insulation specimens using standard heat flow meter**. J. Test. Eval., v. 47, n. 1, p. 585-601. R&B Inc, 2019.

GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida da. DURANTE, Luciane Cleonice. CALLEJAS, Ivan Julio Apolônio. **Impacto das mudanças climáticas no ambiente térmico interno de habitação unifamiliar em Cuiabá-MT**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 11, p. e020031, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v11i0.8657188>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8301: Thermal Insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus**. ISO, 1991.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S.; MANGLIK, Raj M. **Princípios de transferência de calor**. Cengage Learning Editores, 2012.

LAMBERTS, Roberto et al. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Vol. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010a. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente\\_vol\\_I\\_WEB.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf). Acesso em: 05 out. 2022.

LI, Manfeng; ZHANG, Hua; JU, Yonglin. **Design and construction of a guarded hot plate apparatus operating down to liquid nitrogen temperature**. Review of Scientific Instruments, v. 83, n. 7, 2012.

MENG, Xi et al. **Feasibility experiment on the simple hot box-heat flow meter method and the optimization based on simulation reproduction**. Applied Thermal Engineering, v. 83, p. 48-56, 2015.

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.

NICOLAU, Vicente P.; GÜTHS, Saulo; SILVA, Marcel G. **Thermal conductivity and specific heat measurement of low conductivity materials using heat flux meters**. In: the 16th European Conference on Thermophysical Properties Thermal Conductivity and Specific Heat Measurement of Low Conductivity Materials using Heat Flux Meters, Londres, UK. 2002.

NOONAN, Patrick; JONAS, Timothy. **Full-Thickness Thermal Testing of Fiberglass Insulation Using an ASTM C518-10 Heat Flow Meter Apparatus**. In: Symposium on Next-Generation Thermal Insulation Challenges and Opportunities. ASTM International, 2014. p. 1-22.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. OCDE. **Manual de Oslo**: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. Publicado pelo FINEP. 3ª ed, 2006.

PINTO, Priscilla Radd Ferreira. **Medição de Propriedades Térmicas pelo Método Fluximétrico**: desenvolvimento de equipamento. 2015. Tese de Doutorado. PUC-Rio. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/25701/25701.PDF>. Acesso em: 15 nov. 2022

QUESTEL. **Orbit Intelligence by Questel**. V. 1.9.8. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentRegularAdvancedSearchPage>. Acesso em: 15 nov. 2022.

REDDY, K. S.; JAYACHANDRAN, S. **Investigations on design and construction of a square guarded hot plate (SGHP) apparatus for thermal conductivity measurement of insulation materials**. International Journal of Thermal Sciences, v. 120, p. 136-147, 2017.

SALMON, David; TYE, Ron. **An inter-comparison of guarded hot plate and heat flow meter apparatus within United Kingdom and Eire**. High Temperatures - High Pressures, volume 32, p. 19-28, 2000. Disponível em: [http://www.eyoungindustry.com/uploadfile/file/20151005/20151005084020\\_26493.pdf](http://www.eyoungindustry.com/uploadfile/file/20151005/20151005084020_26493.pdf). Acesso em: 18 set. 2021.

SANCHEZ-CALDERON, Ismael et al. **Methodology for measuring the thermal conductivity of insulating samples with small dimensions by heat flow meter technique.** Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 147, n. 22, p. 12523-12533, 2022.

SILVA, Rafael Tavares da. ZANETTE, Thiago Gomes. **Projeto de um aparato experimental para obtenção de condutividade térmica em materiais de construção civil pelo método de placa quente protegida.** 173p. Cachoeiro do Itapemirim, ES: IFSC, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1235/TCF\\_Silva\\_Zanette.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1235/TCF_Silva_Zanette.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 31 out. 2022.

SOARES, Nelson 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.021>. Acesso em: 31 out. 2022.

WAKILI, K. Ghazi; BINDER, B.; VONBANK, R. **A simple method to determine the specific heat capacity of thermal insulations used in building construction.** Energy and buildings, v. 35, n. 4, p. 413-415. Elsevier, 2003.

WANG, Yong; XIAO, Peng; DAI, Jingmin. **Design and construction of a new steady-state apparatus for medium thermal conductivity measurement at high temperature.** Review of Scientific Instruments, v. 88, n. 10, 2017.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. WIPO. **Publicação IPC. IPCPUB v.8.5.** Versão 2021.01. Disponível em: <http://ipc.inpi.gov.br/>. Acesso em 15 nov. 2021.

YANG, Inseok et al. **Construction and calibration of a large-area heat flow meter apparatus.** Energy and Buildings, v. 203, p. 109445, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109445>. Acesso em: 14 out. 2021.

YÜKSEL, Numan. **The Review of Some Commonly Used Methods and Techniques to Measure the Thermal Conductivity of Insulation Materials.** Insulation Materials in Context of Sustainability, p.113. Intech, 2016. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/51497>. Acesso em: 14 out. 2021.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.