

ARTIGO

UM EQUIPAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

J.T. Freire\*  
J.C. Gubulin\*  
S. Tobinaga\*

FREIRE, J. T. e outros. Um equipamento para determinação da condutividade térmica. *Rev. Ensino Eng., São Paulo*, 3(1):25-29, 1.º sem. 1984.

Foi desenvolvido um equipamento para a determinação da condutividade térmica, utilizando o método da barra dividida. Os padrões secundários utilizados foram calibrados a partir de padrões de quartzo fundido. Através da escolha adequada de padrões e da amostra, o equipamento pode ser utilizado para efetuar medidas em materiais sólidos, líquidos e em sistemas particulados. Serão apresentados, como exemplo, dados da condutividade térmica nos sistemas esfera de vidro-ar, solo-ar-água, e solo-ar-vinhoto, nos quais o equipamento foi testado.

Transferência de Calor. Parâmetros de Transferência de Calor. Condutividade Térmica. Fenômenos de Transporte.

FREIRE, J.T. and other. An apparatus for the determination of thermal conductivity. *Rev. Ensino Eng., São Paulo*, 3(1):25-29, 1.º sem. 1984.

An apparatus has been developed for the determination of thermal conductivity using the method of horizontal parallel-plate. Secondary standards have been calibrated with the use of quartz standards. Upon the utilization of appropriate standards the equipment is suitable for measurement in solid, liquid, or particulated systems. As examples, data for thermal conductivity in systems of glass beads-air, soil-air water, and soil-air-stillage, are presented.

Heat Transfer. Heat Transfer Parameters. Thermal Conductivity. Transport Phenomena.

1 INTRODUÇÃO

No projeto e dimensionamento de muitos equipamentos é necessário conhecer e caracterizar os mecanismos de transferência de calor. Um destes mecanismos é o de condução de calor cujo formalismo conduz a uma equação diferencial do tipo<sup>1</sup>

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \nabla \cdot (k \nabla T) + q''' \quad (1)$$

válida para sólidos heterogêneos isotrópicos e fluidos incompressíveis onde a viscosidade for desprezível.

Para a utilização da equação (1) é necessário o conhecimento dos seguintes parâmetros: densidade ( $\rho$ ), calor específico ( $c$ ) e condutividade térmica ( $K$ ) além do termo de geração ( $q'''$ ).

\*Departamento de Engenharia Química - Universidade Federal de São Carlos.

O objetivo deste trabalho é apresentar ao aluno uma técnica de obtenção de K, partindo-se da equação de Fourier e utilizando-se o método das barras divididas.

## 2 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No caso da condução unidimensional de calor através de um sistema, tem-se a equação constitutiva devido a Fourier na forma

$$q = -K \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

onde

q: densidade de fluxo de calor (kcal/m<sup>2</sup> h)  
 K: condutividade térmica (kcal/h m °C)  
 dT/dx: gradiente de temperatura (°C/m)

Para a utilização do método da barra dividida aplica-se a equação (2) ao sistema da Figura 1, onde em regime permanente tem-se:

$$q = K_A \frac{(T_1 - T_2)}{L_A} = K_B \frac{(T_2 - T_3)}{L_B}, \text{ logo}$$

$$K_A = K_B \frac{(T_2 - T_3)}{(T_1 - T_2)} \frac{L_A}{L_B} \quad (3)$$

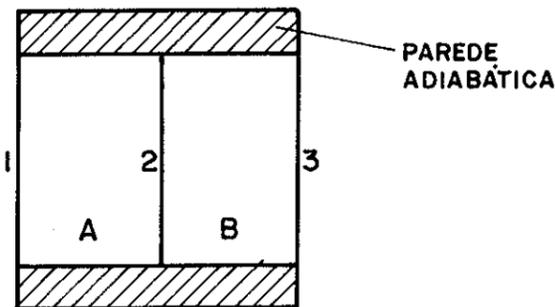


Figura 1 - Esquema da célula com um padrão

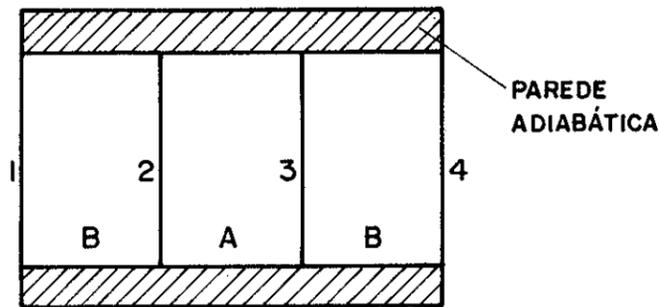


Figura 2 - Esquema da célula utilizando dois padrões

Assim a condutividade térmica do elemento A pode ser conhecida sabendo-se a condutividade térmica de B (padrão), as espessuras L<sub>A</sub> e L<sub>B</sub> e medindo-se as temperaturas T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> e T<sub>3</sub>.

Muitas vezes para se ter uma idéia da adiabaticidade da parede utiliza-se dois padrões em vez de um, com o esquema da Figura 2.

Se L<sub>B1</sub> = L<sub>B2</sub> e a parede adiabática for perfeita temos T<sub>1</sub> - T<sub>2</sub> = T<sub>3</sub> - T<sub>4</sub>. Quando o experimento for bem conduzido, tomando-se cuidado com os contatos térmicos o valor Ψ, definido como

$$\Psi = \frac{T_3 - T_4}{T_1 - T_2}$$

será indicativo da qualidade da parede adiabática. Ψ = 1 a parede será totalmente adiabática.

## 3 DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DE K

Com a finalidade de atender as hipóteses restritivas implícitas na dedução da equação (3) foi projetado e construído uma célula para a determinação da condutividade térmica, Figura 2, constando de duas fontes térmicas de serpentina interna, detalhes na Figura 3, dois discos padrões, um recipiente para amostra e quatro termopares de cobre-constantan inseridos em discos de latão com 4,1 cm de diâmetro e 0,2 cm de espessura. Ligado às fontes térmicas dois banhos termostáticos com precisão de 0,02 °C. As medidas das temperaturas foram efetuadas com um milivoltímetro digital de 4 1/2 dígitos. O esquema geral do equipamentos utilizado é apresentado na Figura 3. Detalhes da célula e das fontes térmicas são apresentados nas Figuras 4 e 5.

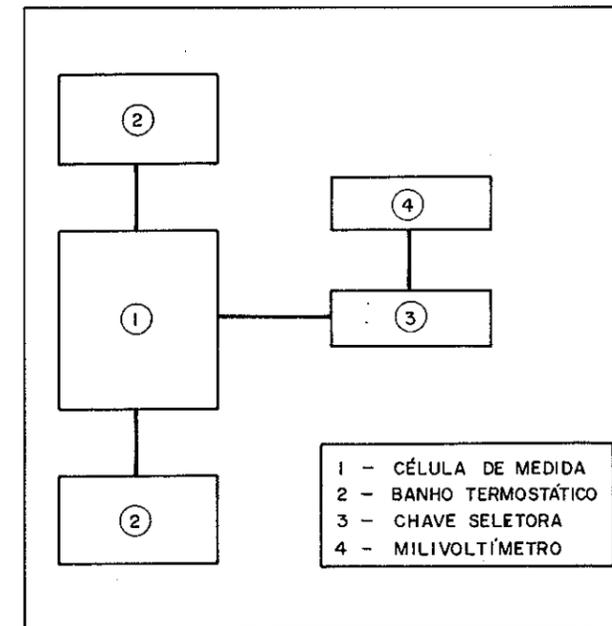


Figura 3 - Esquema do equipamento

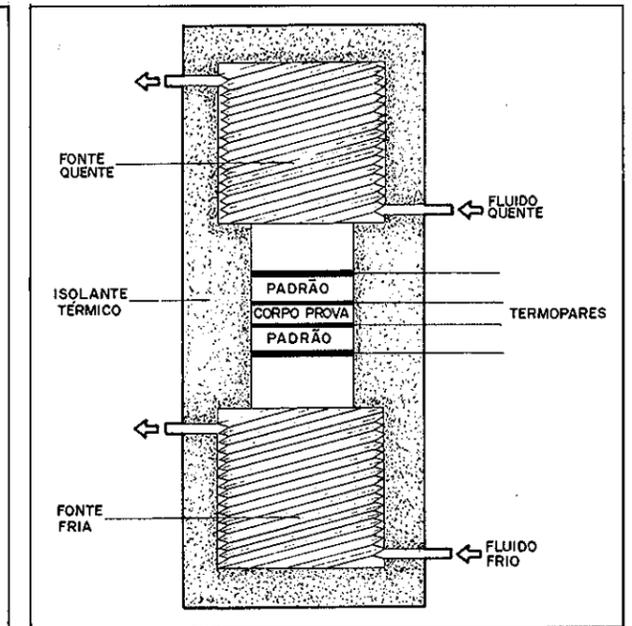


Figura 4 - Detalhes da célula

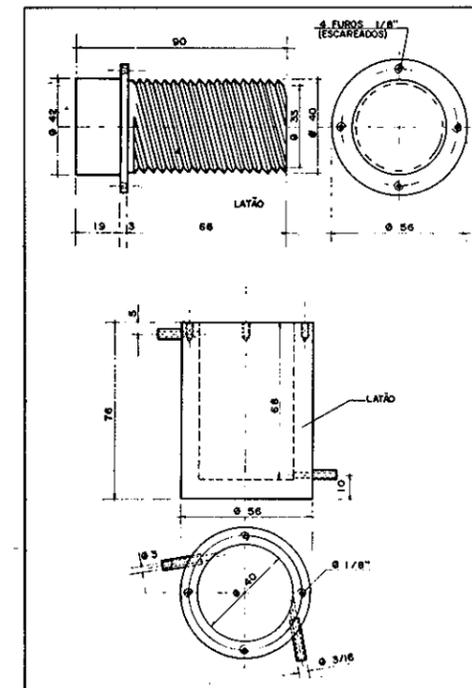


Figura 5 - Detalhe da fonte térmica

Os banhos termostáticos utilizados neste experimento foram construídos no próprio Departamento de Engenharia Química e os detalhes de sua construção são apresentados em Tobinaga et al<sup>2</sup>.

A fim de se baratear o experimento, é possível a utilização de apenas um banho termostático. A outra fonte térmica pode ser alimentada com água vinda de uma torneira normal. Mesmo o banho termostático utilizado, para o caso de experimento didático, não necessita ter a precisão de 0,02 °C. Um banho razoavelmente barato é conseguido com o uso de resistências elétricas e um controle da ALTRONIC ou similar.

Tomamos como padrão primário a condutividade térmica de discos de quartzo fundido<sup>3</sup>, a partir deste, vários padrões secundários foram construídos, como por exemplo Teflon, rocha, PVC, etc.

#### 4 SUGESTÕES PARA AS ATIVIDADES DOS ALUNOS

Para um melhor aproveitamento do assunto sugerimos etapas a serem cumpridas pelos alunos durante a realização desta experiência:

- distribuição dos alunos em equipes
- escolha de uma amostra para cada equipe
- especificação das condições de operação para cada grupo
- troca, entre os grupos, dos valores experimentais obtidos
- relatório final (individual ou por equipe).

Sugestões aos colegas, que quiserem utilizar este experimento:

- uma mesma amostra pode ser dada a mais de um grupo, neste caso poderia ser variado o tipo de padrão. Quanto mais próxima a resistência térmica oferecida pelo padrão estiver da resistência térmica oferecida pela amostra, melhor será o resultado obtido.
- uma diferença de temperatura razoável para ser utilizada deve ficar na faixa de 5 a 10°C.
- em vez de uma amostra de sólido é possível trabalhar com um sistema particulado em presença de um ou mais fluidos. No caso de dois fluidos cada grupo pode operar com uma dada razão entre fases. No caso de sistemas particulados a condutividade térmica passará a ser uma condutividade térmica efetiva<sup>4</sup>.

#### 5 EXEMPLO

A título de exemplo damos os resultados de uma experiência para a situação mais complexa de uma amostra constituída de sistema particulado em presença de um ou dois fluidos. No caso de solo-vinhoto-ar cremos ser esta uma das primeiras medidas publicadas no País, uma vez que não encontramos na literatura especializada nenhuma referência ao assunto.

O quadro a seguir apresenta os sistemas utilizados e suas características.

SISTEMAS	$\epsilon$ %	$d_p$ (mm)	$\theta_o$	$\theta_s$
Esfera de vidro - ar	38	0,40	-	-
Solo LVA <sub>e</sub> - ar - água	40	-	0,008	0,397
Solo LVA <sub>e</sub> - ar - vinhoto	40	-	0,008	0,397

onde:

- $\epsilon$ : porosidade  
 $d_p$ : diâmetro da partícula (mm)  
 $\theta_o$ : umidade residual (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)  
 $\theta_s$ : umidade de saturação (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)  
 LVA<sub>e</sub>: Latossol Vermelho Escuro - fase arenosa

Os resultados obtidos encontram-se no quadro a seguir:

SISTEMAS	$\theta$	K (kcal/(h) (m) (°C))		
		Medida 1	Medida 2	Medida 3
LVA <sub>e</sub> - ar - vinhoto	0,008	0,31	0,33	-
	0,065	0,42	0,48	0,46
	0,129	0,68	0,85	0,76
	0,212	1,17	1,16	-
LVA <sub>e</sub> - ar - água	0,008	0,32	0,27	0,29
	0,060	0,40	0,38	0,40
	0,121	0,92	0,87	0,79
	0,145	1,03	1,08	1,24
	0,262	1,54	1,45	1,48
Esfera de vidro - ar	-	0,26	0,23	-

onde:

$\theta$ : concentração (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

#### 6 CONCLUSÕES

O objetivo que procurávamos foi plenamente alcançado, qual seja, dotar o laboratório de fenômenos de transporte de um equipamentos didático simples, porém eficiente, para a determinação da condutividade térmica.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIRD, R.B.; STEWART, W.E. e LIGHTFOOT, E.N. *Fenômenos de Transporte*. Editorial Reverté S/A, 1975.
- TOBINAGA, S.; FREIRE, J.T. e FISCHER, B.R. *Anais do X Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos*. Vol. 2, pg. 175, UFSCar, SP, 1982.
- RATCLIFFE, E.H. *British Journal of Applied Physics*, 10 p. 22, 1959.
- FREIRE, J.T. *Transferência de Calor em Meios Porosos*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, PTS 08/79.

#### Agradecimento

Os autores agradecem ao aluno EDSON CYRINO DUARTE DE SOUZA, bolsista de Iniciação Científica da FAPESP, pelos valores experimentais por ele obtidos.