



DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUA VARIAÇÃO COM UMIDADE E DENSIDADE

S.M. Alves; C.L.R. Pietrobon & C. E. Pietrobon

Universidade Estadual de Maringá

Departamento de Engenharia Química

87020 – Maringá/PR – Brasil

fax: (044) 263 – 34 – 40

e-mail: carmen@deg.uem.br

e-mail: carmen@cybertelecom.com.br

RESUMO *Com o objetivo de caracterizar as propriedades térmicas de materiais utilizados na construção civil para futura utilização na avaliação de desempenho térmico de edificações, desenvolveu-se um equipamento, o Fio Quente Paralelo, para as medições de condutividade térmica de argamassas (cimento/areia/água). Avaliou-se a variação da condutividade térmica com a umidade e densidade. Ao variar a umidade das amostras nota-se que há uma variação linear da condutividade com a umidade e também a condutividade térmica aumenta com a densidade.*

ABSTRACT *With the aim to characterize thermal properties of the materials used in the civil construction for future use of thermal acting of constructions, an equipment – The Parallel Hot-Wire, was developed for the measurements of thermal conductivity was evaluated on base of changing the humidity and density. When varying the samples humidity it is noticed, that there is a linear variation of the conductivity with the humidity as well as the conductivity increases with the increase of the density.*

1 Introdução

Nos dias atuais o mercado consumidor está muito exigente em todos os aspectos, o mesmo acontece com a construção civil, onde o conforto térmico de uma moradia tem sido exigido pelos usuários. Há uma interação entre as condições climáticas e construção na determinação deste conforto térmico, como não é possível alterar as condições climáticas, devem ser feitos estudos das propriedades dos materiais de construção a serem utilizados para melhor aplicação dos mesmos.

Sendo a condutividade térmica uma das principais propriedades térmicas é fundamental conhecê-la. Este valor não é facilmente obtido experimentalmente, uma vez que não há disponível no mercado um "medidor de k" apropriado para diversos tipos de materiais .

A proposta deste trabalho foi determinar a condutividade térmica de argamassas (cimento/areia/água) utilizadas na construção civil e estudar a correlação entre a condutividade térmica e o seu teor de umidade , pois não há dados disponíveis na literatura, e também devemos considerar que estes materiais variam sua composição conforme a região.

O método utilizado para realizar as medidas foi o "Método do fio quente paralelo", bem conhecido para o emprego em meios porosos, uma vez que este é baseado num equipamento de fácil manuseio não requerendo alto custo, o que para a situação econômica do nosso país é um fator relevante. A técnica é desenvolvida em regime transiente e quanto mais automatizado for o processo de aquisição dos dados e do processamento dos resultados, mais precisos serão os valores encontrados.

2 Fundamentação Teórica Para o Regime Transiente Térmico

O método do fio quente basea-se na solução da equação da condução de calor transiente:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Supõe-se uma fonte linear contínua de calor imersa num meio infinito, isotrópico e homogêneo o qual está inicialmente a uma temperatura T_0 sendo então submetido a um aquecimento pela passagem da corrente.

A solução analítica da equação (1) proposta por Carslaw Jaeger¹, com uma série de restrições e aproximações:

$$\Delta T(r,t) = T(r,t) - T_0 = \frac{q}{4\pi k} \ln \left(\frac{4\alpha t}{r^2 c} \right) \quad (2)$$

Se a difusividade térmica pode ser considerada constante numa pequena faixa de T e $\ln C$ igual a 0,5772 é a constante de Euler, a condutividade térmica pode ser determinada pela diferenciação de T com relação a $\ln(t_2/t_1)$:

$$k = \frac{\frac{q}{4\pi}}{\frac{d\Delta T}{d \ln(t_2/t_1)}} \quad (7)$$

Assim, plotando um gráfico de ΔT em função de $\ln(t_2/t_1)$, tem-se uma porção linear cujo coeficiente angular será $q/4\pi k$.

3 Procedimento Experimental

O método constitui-se de duas amostras do material de teste iguais na forma de paralelepípedos com as dimensões 250x120x60 mm e de mesma composição, sendo que em uma delas são feitos dois sulcos paralelos a distância entre eles foi 10 mm. Por um deles passa o fio quente ou resistência (fio Khantal com 250 mm de comprimento e 0,05 mm de diâmetro) e pelo outro um termopar (tipo Cu-constantan com diâmetro igual a 0,05 mm). Após a colocação dos fios nos sulcos, o espaço remanescente foi preenchido com pasta térmica, minimizando a presença de ar. As superfícies dos dois corpos de prova devem ser bem polidas. Uma fonte de corrente contínua (DAWLER) fornece tensão ao fio da resistência aquecendo a amostra. O registro da variação da temperatura com o tempo foi feito acoplado o termopar a um milivoltímetro (ECB-450) e com um cronômetro digital, possibilitando a obtenção da condutividade térmica da amostra, como mostra a figura 4.1.

A amostra 1 possui o seguinte traço: 1: 4 : 0,4 e o da amostra 2 é 1: 3: 0.55 o primeiro número a esquerda corresponde a dosagem de cimento o segundo a de areia e o terceiro a de água.

As medidas foram realizadas com variação da umidade de cada amostra, as quais foram secas em estufa a 100°C.

4 Resultados Experimentais e Análise do Método

Para obter valores mais precisos torna-se necessário tomar alguns cuidados , pois há vários fatores que podem interferir as medidas tais como :

i) Contato entre os corpos de prova: os mesmos devem ser bem polidos para uma maior aderência das amostras evitando assim a presença de ar;

ii) Relação entre o comprimento e o diâmetro do fio quente: O valor máximo do diâmetro do fio recomendado pela DIN 51046 é o de 0,35 mm para o diâmetro do fio quente, o comprimento deve ser semelhante ao comprimento da amostra. Van Der Held² propôs que para um fio com 0,3 mm de diâmetro seu comprimento deveria ser da ordem de 200mm . Mittenbultlen³ estabeleceu uma relação entre o comprimento e diâmetro 100:1. No presente trabalho a razão foi da ordem de 500:1;

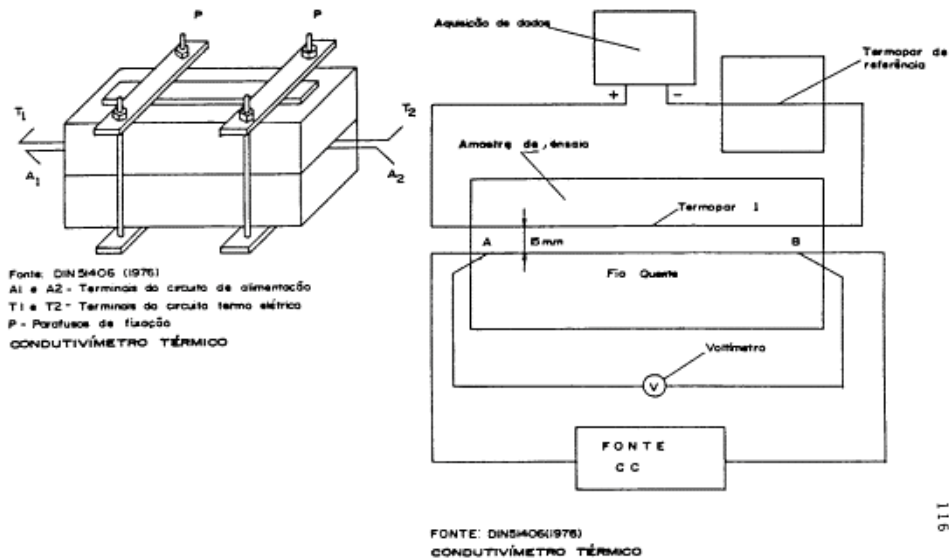


Fig. 4.1 - Arranjo esquemático do fio quente paralelo

iii) Diâmetro do Termopar: O diâmetro do termopar não deve exceder o diâmetro do fio quente (segundo a DIN 51046). O efeito do diâmetro embora pequeno deve ser considerado pois é da grandeza de 2 a 5%;

iv) Erros de Medida: Durante o experimento podem ocorrer possíveis erros nas medidas da corrente e resistência, estes podem ser ignorados desde que o instrumento não exceda $\pm 0,1\%$ do máximo estimado. Não deve-se variar a corrente, nem a resistência durante o processo. A duração do teste não deve exceder 600s, a duração ideal é 300s onde obtém-se o melhor valor pois a corrente varia 0,1%. O coeficiente de correlação obtido na análise de regressão linear deve estar entre 0,9995 e 0,99995;

v) Temperatura Ambiente: A variação na temperatura ambiente pode ser a maior causa de erros. Esses efeitos são mais sérios para materiais com alta condutividade do que os de baixa condutividade térmica. A temperatura ambiente deve ser mantida na ordem de 20°C . A variação da temperatura pode ocasionar erros de 4 a 8 %.

A condutividade térmica dos materiais aumenta em função do teor de umidade contida nos mesmos, devido ao fato de que a água, com poder de isolamento inferior ao do ar, substitui parte do volume gasoso contido no interior dos poros.

Há varias considerações sobre a variação de k com o teor de umidade, por exemplo na Alemanha considera-se que a condutividade varia linearmente com o teor de umidade, com um aumento de 6% no valor de k para uma variação de 1% no teor de umidade, expresso em relação ao volume, já nos Estados Unidos estima-se uma alteração de 4 a 6 % em k para cada 1% de variação no teor da umidade, expresso em relação à massa.

Os resultados obtidos através da utilização deste método na análise da variação da condutividade com a umidade estão expostos nas tabelas 4.1 e 4.2, a seguir.

Tabela 4.1 - Variação da condutividade com a umidade para amostra 1.

Condutividade (W/m ⁰ C)	Umidade (Kg de água/Kg de amostra seca)
1.012	0.0347
0.858	0.0295
0.781	0.0230
0.686	0.0116
0.781	0.0065
0.780	0.0013
0.643	0.0000

Tabela 4.2: Variação da condutividade com a umidade para amostra 2.

Condutividade (W/m ⁰ C)	Umidade (Kg de água/Kg de amostra seca)
0.950	5.50
0.897	4.82
0.855	4.50
0.846	3.92
0.777	0.27
0.685	0.00

Portanto a condutividade versus umidade obteve-se uma reta com a qual pode-se prever os valores de condutividade para cada umidade, o que pode ser notado pelas figuras 4.2 e 4.3.

Pelos erros experimentais ocorridos durante o experimento tais como; para secar a amostra era necessário desmontar todo o equipamento, ao monta-lo novamente não era possível colocar o termopar a mesma distância do fio quente e nem comprimir as amostras com a mesma força, a reta obtida não contém todos pontos.

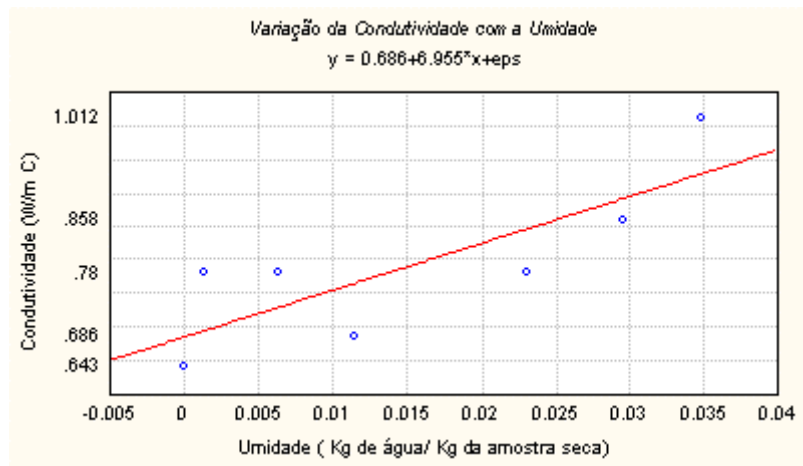


Fig. 4.2 - Gráfico representativo da variação da condutividade térmica com a umidade para amostra 1

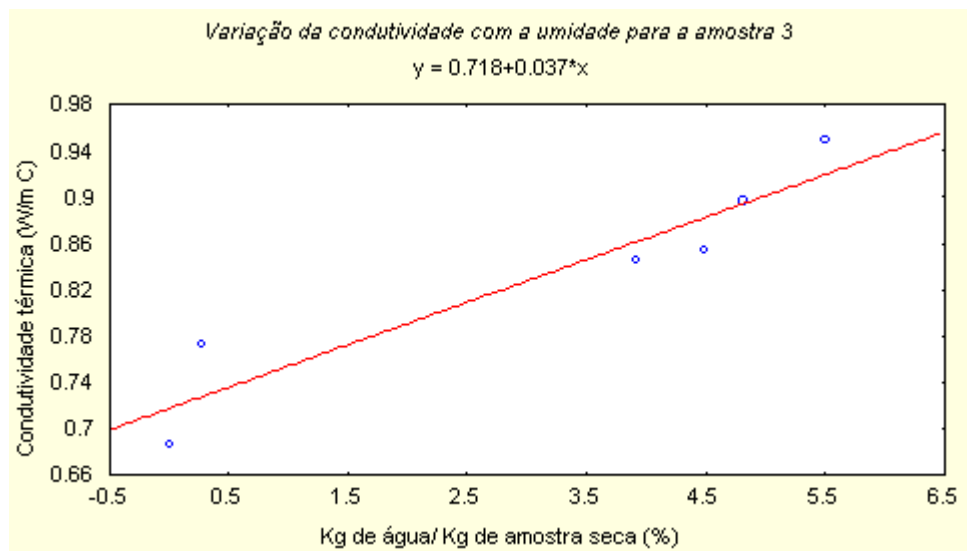


Fig.4.3: Gráfico representativo da variação da condutividade térmica com a umidade para amostra 2

As correlações obtidas foram:

$$k = 0.686 + 6.955 \cdot u \text{ (para amostra 1); } k = 0.718 + 0.037 \cdot u \text{ (para amostra 2)}$$

onde:

k = condutividade térmica ($W / m^{\circ}C$); u = umidade (Kg de água/ Kg de material seco)

Para correlacionar-se a variação de k com a densidade necessita-se de várias amostras do material com dosagens diferentes de cimento/areia/água. Neste trabalho utilizou-se duas amostras com dosagens diferentes impossibilitando a obtenção de uma correlação entre k e a densidade do material. Pode-se verificar através dos resultados de testes com as amostras 1 e 2 representados na tabela 4.3, que a condutividade térmica decresce com a diminuição da densidade.

Tab. 4.3: Variação da Condutividade com a densidade.

Densidade (g/cm ³)	Condutividade térmica (W/m° C)
Amostra 1 = 1,850	0,646
Amostra 2 = 1,915	0,685

5 Conclusões

O método utilizado neste trabalho vem de encontro com as nossas necessidades , pois o intuito do trabalho era fornecer dados, com precisão dentro dos requisitos da engenharia, com os quais pode-se estimar a condutividade térmica desses materiais e melhor aplicá-los na construção civil.

A variação da condutividade térmica com a umidade para as amostras 1 e 2 foram descritas por uma reta ainda que todos pontos não estejam sobre a mesma, devido aos erros experimentais . Com a variação linear pode-se estimar um aumento de 6% na condutividade para um aumento de 1% na umidade de acordo com a norma da DIN 52612.

O aumento da condutividade térmica com a umidade é devido a ocupação dos poros pela água que expulsa o ar, sendo que esta tem maior valor da condutividade térmica que a do ar.

Em geral, a condutividade térmica diminui com o aumento da quantidade de ar presente no material. Por esta razão, quanto menor a massa específica aparente do material menor a sua condutividade térmica.

6 Nomenclatura

T = temperatura final (° C)

q = calor dissipado por comprimento (W/m)

k = condutividade térmica do material (W/m °C)

r = distância radial a partir do fio quente (m)

t = tempo contado a partir do inicio da liberação de calor (s)

α = difusividade térmica do material (m² / s)

u = umidade do material (Kg de água/ Kg de material seco)

7 Referências Bibliográficas

Carslaw, H.S, Jaeger, J.C. (1959): Conduction of Heat in Solids,, Second Edition, Oxford University Press.

Davis, W. Re Downs (1979): The Hot-wire Test a Critical Review and Comparison with the

BS 1902 Panel Test. Transactions Journal British Ceramic Society., pp. 79,44-52.

Deutsches Institut für Normung (1979) - Testing of thermal insulating materials : Determination of thermal conductivity by means of the guarded hot plate apparatus. DIN 52 612, (Provisional Standard Part 2) .

Deutsches Institut für Normung (1976): Testing of Ceramic Materials: Determination of Thermal Conductivity up to 1600°C by the Hot-Wire: Thermal conductivity up to 2W/mK (in German). DIN 51046, (Provisional Standard Part 1) .

Mittenbuhler, A (1962): Determination of the Thermal Conductivity of refractory Material by the Hot-Wire Method, Ber. Deut. Keram. Ges., 39, (7), 387.

Santos, W.N, e Cintra J.S. F (1986): Método de Fio Quente com Ajuste por Regressão Linear na Condutividade Térmica de Materiais Cerâmicos. In: Anais... XXX Congresso Brasileiro de Cerâmica, Rio de Janeiro.

Tye, R.P., Spinney S. C.: Thermal Conductivity of Concrete Measurement Problems and Effect of Moisture, Dynatech Company, Cambridge Massachusetts (USA).

Van Der Helde, E. F. M. and Van Drunen (1949), F. G. A Method of Measuring the Thermal Conductivity of Liquids, Physica, vol. 15, (10), p 865 .