

# MÉTODO DE FIO QUENTE NA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE POLÍMEROS

Wilson N. dos Santos<sup>1</sup>, Rinaldo Gregório F<sup>o</sup> <sup>1</sup>, Paul Mummery<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Depto. de Engenharia de Materiais da UFSCar, Caixa Postal 676, 13560-905 São Carlos/SP- dwns@power.ufscar.br  
[gregorio@power.ufscar.br](mailto:gregorio@power.ufscar.br), <sup>2</sup> Manchester Materials Science Centre, University of Manchester/UMIST, Grosvenor  
Street, Manchester M1 7HS, UK, Paul.mummery@man.ac.uk

## *Thermal Properties of Polymers by the Hot Wire Technique*

The hot wire parallel technique standardized for determining thermal conductivity of ceramic materials was employed in the determination of thermal properties of polymers. Samples were prepared in shape of rectangular parallelepipeds. In this work the thermal conductivity and the specific heat were simultaneously determined from the same experimental thermal transient, and the thermal diffusivity is derived from these properties. Five different polymers with different structures at room temperature were selected. The reproducibility is very good with respect to thermal conductivity, even with a defective experimental arrangement with respect to the theoretical model. However, deviations from the theoretical model causes severe influence on the specific heat values and consequently in the thermal diffusivity. Experimental results were compared with those available in literature, showing the applicability of this technique in the determination of thermal properties of polymers.

## Introdução

As três propriedades físicas mais importantes de um material sob o ponto de vista de cálculos térmicos são a condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico.

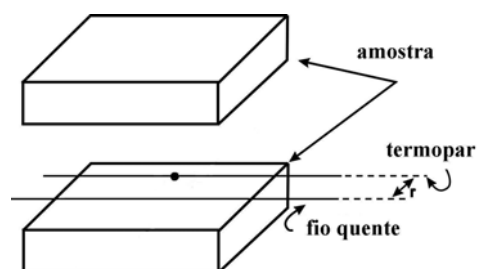
Analogamente ao que ocorre para os materiais cerâmicos, valores confiáveis dessas propriedades térmicas são essenciais para os polímeros, tanto em problemas envolvendo o estado estacionário quanto não estacionário. Um exemplo típico de problema envolvendo estado não estacionário, comum em engenharia de polímeros, é o processo de extrusão. Uma vez que durante a extrusão o polímero passa por uma complicada história térmica, o conhecimento de suas propriedades térmicas torna-se crucial na descrição e análise do processo<sup>(1)</sup>. Em situações de estado estacionário o conhecimento da condutividade térmica é essencial para a adequada aplicação dos polímeros como isolantes térmicos.

## Técnica de fio quente paralelo

O método de fio quente paralelo é um método direto, absoluto, e não estacionário. Em 1949 Van Der Held e Van Drunen<sup>(2)</sup> foram os que pela primeira vez fizeram uso prático dessa técnica de medida, na determinação da condutividade térmica de líquidos. No Brasil esta técnica de medida foi utilizada pela primeira vez em 1985 por Santos e Cintra<sup>(3)</sup>, na determinação da condutividade térmica de materiais refratários.

Na técnica de fio quente paralelo são necessárias duas amostras em forma de paralelepípedos retangulares ou de semicilindros. Em um dos corpos de prova são feitas duas ranhuras paralelas: por uma delas passa o fio

quente e pela outra um termopar. A profundidade desses sulcos deve corresponder aproximadamente ao diâmetro dos fios a serem neles inseridos. Sobre esse corpo de prova é então colocado o segundo corpo. As superfícies em contato devem ser bem polidas, para proporcionar o melhor contato térmico possível. A junção de referência do termopar é mantida a uma temperatura constante (temperatura de referência). A figura 1 mostra um diagrama esquemático do arranjo experimental dos corpos de prova.



**Figura 1.** Esquema do arranjo dos corpos de prova na técnica de fio quente paralelo.

No processo de medida da condutividade térmica, faz-se passar uma corrente elétrica constante através do fio, e registra-se o aumento de temperatura no material a uma distância  $r$  desse fio, a partir da temperatura inicial de equilíbrio. No caso de medida em temperaturas superiores a ambiente, os corpos de prova e o dispositivo de medida são colocados no interior de um

forno. A condutividade térmica,  $k$  (W/mK), é calculada segundo a equação:

$$k = \frac{-q'}{4\pi T(t)} Ei\left(-\frac{\rho c r^2}{4kt}\right) \quad (1)$$

onde:  $q'$  é a densidade linear de potência (W/m),  $T(t)$  a variação de temperatura registrada pelo termopar em relação à temperatura inicial de referência (K),  $\rho$  e  $c$ , respectivamente, a densidade e o calor específico a pressão constante do material,  $r$  a distância radial entre o fio quente e o termopar,  $t$  o tempo, contado a partir do início da liberação de calor e  $Ei(-x)$  a função exponencial integral.

Em 1986, Santos e Cintra<sup>(3)</sup> propuseram um procedimento de cálculo no qual é feito um duplo ajuste por regressão não linear, obtendo-se simultaneamente a partir do mesmo transiente térmico experimental a condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica ( $\alpha$ ) do material. O sistema de aquisição e processamento de dados utilizado neste trabalho é totalmente automatizado: o transiente de temperatura detectado pelo termopar é processado em um microcomputador, via um conversor analógico-digital.

#### Preparação das amostras

As amostras em forma de paralelepípedos retangulares, com dimensões (230x80x30)mm, foram obtidas a partir de placas de polímeros comerciais. Os sulcos paralelos foram feitos aplicando-se uma corrente elétrica adequada no próprio fio quente e no termopar, e pressionando-os contra a superfície da mostra. A

fusão local e posterior resfriamento do polímero providenciaram um contato perfeito entre o fio e a amostra. Em todas as amostras a distância  $r$  foi mantida entre 15 e 16 mm. Com o objetivo de assegurar o melhor contato possível entre as amostras, estas foram pressionadas uma contra a outra, utilizando-se anéis de aço inoxidável. Foram preparadas 5 amostras de diferentes polímeros: nylon 66, polipropileno (PP), poli(metacrilato de metila) (PMMA), poli(cloreto de vinila) (PVC) e poliuretano (PU).

#### Resultados e discussões

As medidas experimentais foram feitas a temperatura ambiente. A condutividade térmica e o calor específico foram determinados a partir do transiente de temperatura correspondente a cada amostra, utilizando-se para isso um método de análise por regressão não linear<sup>(3)</sup>. A difusividade térmica foi então calculada a partir dos valores dessas duas propriedades e da densidade da amostra. Uma comparação entre os resultados obtidos e aqueles encontrados na literatura é apresentada na tabela 1.

O procedimento de análise por regressão adotado neste trabalho é uma ferramenta matemática muito útil, permitindo a determinação simultânea da condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica. Esta é a grande vantagem desta técnica. A qualidade do ajuste pode ser demonstrada pelo coeficiente de correlação. Todos os coeficientes obtidos foram maiores que 0,998.

**Tabela 1** – Resultados obtidos pela técnica do fio quente paralelo e da literatura.

Polímero	Temperatura (° C)	Fio Quente Paralelo			Literatura <sup>(4,5,6)</sup>		
		$k$ (W/mK)	$c$ (J/kgK)	$\alpha$ (x10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/mK)	$c$ (J/kgK)	$\alpha$ (x10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s)
Nylon 66	25	0,3022	1783,66	1,4730	0,2400	1700,00	1,01
					0,3000	1674,40	1,30
					0,2400		
PP	25	0,2321	1812,98	1,4550	0,2400	1925,56	0,6500
						1925,56	0,9000
						2100,00	
PMMA	25	0,1955	1422,41	1,1550	0,2000	1465,10	1,09
					0,2100	1465,10	
					0,2000	1450,00	
PVC rígido	25	0,1858	997,70	1,3590	0,1600	1004,64	1,16
					0,1300	837,0	
					a	a	
					0,2900	1172,08	
					0,2100	1100,0	1,10
PU espuma	25	0,0305	1447,79	6,5740	0,032	-	-

#### REFERÊNCIAS

1. C. Rauwendaal, Polymer Extrusion, Hanser Publishers, Carl Hanser Verlag, Munich (1986).
2. E.F.M. Van Der Held e F.G. Van Drunen, Physics, 15 (10) (1949) 865-881.
3. W. N. dos Santos, e J.S. Cintra Filho, Cerâmica, 32 (198) (1986) 151-154.

4. R.J. Crawford, Plastics Engineering, Butterworth-Heinemann, Oxford (1998).
5. Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, New York (1996).
6. Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Interscience Publishers, Vol. 13, John Wiley & Sons Inc., New York (1970).