



DETERMINAÇÃO SIMULTÂNEA DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA VARIANDO COM A TEMPERATURA

Amanda Ribeiro Tillmann
artillmann@mecanica.ufu.br

Gilmar Guimarães
gguima@mecanica.ufu.br

Sandro M. M. de Lima e Silva
metrevel@mecanica.ufu.br

Laboratório de Transferência de Calor e Massa e Dinâmica dos Fluidos – LTCM
Universidade Federal de Uberlândia UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC,
Av. João Naves de Ávila, 2160, CEP 38408-100, Tel.(34) 3239-4148, Fax:(34) 3239-4206, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

Resumo: *Propõe-se nesse trabalho uma técnica experimental para obtenção simultânea da difusividade térmica, α , e da condutividade térmica, λ , variando com a temperatura de materiais isolantes. O modelo térmico usado considera a transferência de calor unidimensional em um meio submetido a um fluxo de calor transiente na superfície frontal e isolado na superfície oposta. Ressalta-se que a maioria das técnicas existentes para estimação das propriedades determina α e λ a temperatura ambiente ou a partir de dados experimentais simulados. No entanto, existem muitos processos onde a variação das propriedades com a temperatura deve ser considerada. A determinação simultânea dessas propriedades é feita usando-se o princípio da técnica Mista. Nesta técnica uma função objetivo de fase no domínio da frequência é usada para obtenção de α e uma função objetivo de mínimos quadrados no domínio do tempo é usada para obtenção de λ . Obtêm-se as propriedades α e λ variando com a temperatura para amostra de PVC (Policloreto de Vinila). As propriedades α e λ são obtidas a partir de uma montagem experimental que consiste basicamente de uma amostra de PVC que se encontra dentro de um forno que é controlado por um controlador de temperatura PID (proporcional, integral e derivativo). As propriedades α e λ foram determinadas para 7 (sete) pontos de temperaturas médias, nas faixas de 20°C a 66°C. As propriedades são estimadas a partir da imposição de um fluxo de calor que estabelece uma diferença de temperatura máxima entre as superfícies da amostra de 4,5 °C. Uma análise da disposição ótima dos sensores na superfície da amostra é realizada. Uma vez determinada a melhor localização dos sensores e a região de determinação das propriedades, a etapa posterior é o cálculo das propriedades α e λ variando com a temperatura através da técnica proposta.*

Palavras-chave: *Determinação de propriedades térmicas, Condução de calor, Otimização, Métodos experimentais.*

1. INTRODUÇÃO

A caracterização de materiais, ou seja, a determinação de suas propriedades é atualmente um ramo bastante promissor e importante em diversos setores (setores industrial, elétrico, científico, controle de qualidade entre outros) todos esses setores dependem da disponibilidade de materiais com propriedades físicas e químicas bem definidas e que tenham, precisão e confiabilidade. Para a

caracterização de materiais existem um grande número de técnicas, cada uma com sua particularidade e importância. A dificuldade no desenvolvimento das técnicas para obtenção destas propriedades reside no desenvolvimento de uma parte experimental e uma parte numérica que geralmente são sensíveis a erros sistemáticos e aleatórios, uma vez que envolve um modelo teórico e sua implementação experimental. Dentre as principais propriedades físicas de um material do ponto de vista de cálculos térmicos destacam-se a difusividade térmica, α e a condutividade térmica, λ . A difusividade térmica mede a capacidade do material de conduzir a energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la e a condutividade térmica fornece uma indicação da taxa segundo a qual a energia é transferida pelo processo de difusão. A condutividade depende da estrutura física da matéria, a níveis atômicos e moleculares, que por sua vez está relacionada ao seu estado físico. A condutividade térmica assume um papel crítico no desempenho de materiais em muitas aplicações. Baixos valores de condutividade térmica são exigidos, quando se pretende minimizar as perdas de calor. Um ponto importante a ser destacado é a medição das propriedades λ e α variando com a temperatura já existem muitos processos onde essa variação deve ser considerada. A determinação das propriedades térmicas α e λ do PVC variando com a temperatura é uma contribuição desse presente trabalho sendo que a estimação dessas duas propriedades é de suma importância durante o processo de extrusão já que um polímero experimenta uma complicada história térmica. Um outro exemplo da importância do conhecimento das propriedades térmicas do PVC variando com a temperatura é o seu uso como revestimento de fios e cabos elétricos devido a sua baixa ignitabilidade (não pega fogo fácil). A resistência à ignição é geralmente avaliada pela aplicação de testes com temperaturas em vários níveis. No caso de materiais metálicos têm-se os processos de laminação e recozimento nos quais as temperaturas podem variar mais de 1000 °C, os processos industriais (como por exemplo, às indústrias siderúrgicas, minérios etc) onde a maioria dos equipamentos está exposta a condições de altas temperaturas. Dessa forma é imprescindível o conhecimento das propriedades do material desses equipamentos variando com a temperatura, pois evita falha e garante a segurança das pessoas que manuseiam esses equipamentos. Existem poucas técnicas experimentais para determinação de propriedades térmicas α e λ variando com a temperatura sendo que a maioria delas usa dados experimentais simulados ou através de restrições, como a consideração de uma das propriedades constante. Lesnic et al (1995), determinaram a condutividade térmica em função da temperatura de um material para um modelo unidimensional. A difusividade térmica do material é considerada constante e conhecida. A equação de difusão de calor é linearizada utilizando a transformação de Kirchhoff e medidas de temperatura em posições arbitrárias do espaço são utilizadas para produzir uma única solução. A dependência da condutividade com a temperatura é obtida de forma explícita através da soma de uma série infinita, enquanto a solução da temperatura é obtida implicitamente. Uma análise em relação a posição do sensor foi feita e verifica-se que a condutividade térmica é fortemente dependente da posição em que é colocada o sensor de temperatura. Kim et al (2003) desenvolveram um método integral para estimar a condutividade térmica variando com a temperatura sem o uso de medições internas de temperatura e com um modelo unidimensional onde uma das faces é aquecida e a outra é isolada. O problema inverso de condução de calor não-linear é resolvido considerando que a condutividade térmica uma função linear da temperatura e usando o método integral. A distribuição de temperatura para o método integral é assumida como uma função polinomial de terceira ordem onde os coeficientes da equação são determinados utilizando dois fluxos de calor impostos e duas temperaturas medidas no contorno. Experimentos numéricos validam o método proposto. Uma técnica bastante usada para estimação simultânea das propriedades α e λ é a técnica de estimação de parâmetros. A técnica utilizada para estimação dessas propriedades foi a técnica Mista inicialmente desenvolvida por Borges et al (2005) para materiais condutores e não condutores com propriedades constantes. A técnica usada se baseia na definição de duas funções objetivos, uma no domínio da frequência e outra no domínio do tempo. Uma função de fase no domínio da frequência é usada para a determinação de α , enquanto uma função objetivo de mínimos quadrados é usada para a determinação de λ . A solução da equação de difusão de calor é feita através da discretização por diferenças finitas utilizando um método totalmente implícito. A solução do sistema de equações

algébricas lineares obtidas dessa discretização é feita através do método iterativo SOR (*Successive Over Relaxation*). Realizou-se uma montagem experimental composta por um forno controlado por um controlador PID (proporcional, integral e derivativo), responsável por controlar a temperatura do forno numa faixa de 20°C a 66°C. Para cada condição de temperatura imposta no controlador (20 °C, 27 °C, 36 °C, 43 °C, 50 °C, 58 °C e 65 °C) são realizados 20 experimentos. Os resultados obtidos se mostraram de acordo com os valores obtidos na literatura. De fato o método proposto nesse trabalho representa uma alternativa para estimação simultânea das propriedades térmicas α e λ de materiais isolantes.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Modelo Térmico

Na Figura 1, $\phi_1(t)$ representa o fluxo de calor, $\theta_1(t)$ é a temperatura medida na superfície superior da mostra e $\theta_2(t)$ a temperatura na face inferior. O modelo térmico proposto é unidimensional como é mostrado na Figura 1.

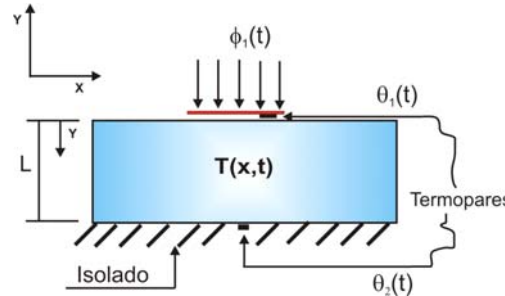


Figura 1. Esquema do modelo térmico equivalente

A equação de difusão de calor para o problema mostrado na Fig. 1 pode ser escrita como:

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

sujeita as seguintes condições de contorno

$$-\lambda \cdot \frac{\partial \theta(y,t)}{\partial y} = \phi_1(t) \text{ em } y = 0 \quad \text{e,} \quad \frac{\partial \theta(y,t)}{\partial y} = 0 \text{ em } y = L \quad (2)$$

e a condição inicial

$$\theta(y,0) = 0 \quad (3)$$

onde $\theta(y,t) = T(y,t) - T_0$. A solução da temperatura é obtida através da solução numérica das Eqs. (1-3).

2.2 Sistema Dinâmico

A técnica proposta se baseia no sistema tipo entrada/ saída mostrado na Figura 2.



Figura 2. Sistema dinâmico tipo entrada/saída

Usando o teorema da convolução (Bendat & Piersol, 1986), a função impedância pode ser identificada no domínio da frequência por

$$Z(f) = H(f) = \frac{\theta_1(f) - \theta_2(f)}{\phi_1(f)} = \frac{Y(f)}{X(f)} \quad (4)$$

onde $Z(f)$ é denominada função impedância, que é equivalente a função resposta em frequência e $X(f)$ e $Y(f)$ são respectivamente as transformadas de Fourier dos sinais de entrada, $X(t)$, e saída, $Y(t)$. As transformadas de Fourier são calculadas utilizando o algoritmo de Cooley-Tukey (Bendat & Piersol, 1986). Como o uso direto de $X(f)$ e $Y(f)$ pode produzir alguma instabilidade numérica, a função resposta em frequência $Z(f)$ é obtida através da multiplicação da Eq. (4) pelo complexo conjugado de $X(f)$, ou seja:

$$Z(f) = \frac{Y(f)X^*(f)}{X(f)X^*(f)} = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)} \quad (5)$$

onde S_{xy} é a densidade espectral cruzada de $X(f)$ e $Y(f)$, e S_{xx} é a ensidade autoespectral de $X(f)$. A Eq. (5) é mais estável devido ao melhor comportamento da densidade espectral com a frequência. Verifica-se que a resposta em frequência $Z(f)$ é fortemente dependente das propriedades térmicas do sistema (Borges et al, 2005), ou seja:

$$Z(f) = \frac{\theta_1(f) - \theta_2(f)}{\phi_1(f)} = \text{função}(\alpha, \lambda) \quad (6)$$

Observa-se que $Z(f)$ é uma função complexa e, portanto, é escrita como:

$$Z(f) = |Z(f)|e^{-j\varphi(f)} \quad (7)$$

onde os termos $|Z(f)|$ e $\varphi(f)$ são respectivamente o módulo e a fase da resposta em frequência, $Z(f)$. A fase $\varphi(f)$ por sua vez é definida por:

$$\varphi(f) = \arctang[\text{Im } Z(f) / \text{Re } Z(f)] \quad (8)$$

onde $\text{im}Z(f)$ e $\text{re}Z(f)$ representam a parte imaginária e real de $Z(f)$. Embora a função $Z(f)$ seja uma função de α e λ quando decomposta em módulo e fase observa-se que a fase é função só de α (Guimarães, 1993). Dessa forma a decomposição da função resposta em frequência em módulo e fase constitui uma alternativa para determinar as propriedades de forma simultânea e independente. Essa mesma técnica pode ser utilizada para os modelos bidimensional e tridimensional (Borges et al, 2005).

2.3 Estimação da Difusividade Térmica: domínio da frequência

Uma vez verificado que a fase é função somente de α pode-se determinar a difusividade térmica, α através da minimização de uma função objetivo, S_φ , baseada na diferença entre os valores experimentais e calculados da fase. Esta função é, por sua vez, definida como:

$$S_\varphi = \sum_{i=1}^{N_f} (\varphi_e - \varphi)^2 \quad (9)$$

onde φ_e e φ são respectivamente os valores experimentais e calculados da fase de Z . Logo, os valores de α são os valores estimados que minimizam a Eq. (9). A minimização foi feita usando-se o método da Seção Áurea com Aproximação Polinomial, (Vanderplaats, 1984).

2.4 Estimação da Condutividade Térmica: domínio do tempo

Determinada a difusividade térmica a condutividade térmica, λ pode ser obtida através de uma função objetivo baseada no erro quadrático entre as temperaturas medidas experimentalmente, $T_e(t)$, e aquelas obtidas através do modelo teórico, $T(t)$. Da mesma forma anterior a minimização é feita utilizando o método da Seção Áurea com Aproximação Polinomial, (Vanderplaats, 1984). Portanto o valor de λ ótimo será escolhido entre o menor valor que minimiza a função S_{mq} , definida como:

$$S_{mq} = \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_t} [\theta_e(i, j) - \theta(i, j)]^2 \quad (10)$$

onde N_s é o número de sensores e N_t é o número de pontos.

3. DIMENSÃO DA AMOSTRA, LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A escolha de grandes dimensões para a largura e comprimento da amostra está relacionada com as condições impostas no modelo teórico, ou seja, condição de isolamento no contorno. Então, devido a esse fato utilizou-se um tamanho de amostra maior a fim de minimizar as perdas de calor nas bordas laterais. A amostra grande contribui não só para minimizar as perdas de calor na amostra, mas também para garantir a unidimensionalidade do problema proposto. Uma vez definido o tamanho da amostra o próximo passo é a definição da localização dos termopares na superfície da amostra. Uma vez que o método proposto neste trabalho usa o domínio da frequência, é necessário que o sinal de temperatura θ , tenda para zero depois do aquecimento. Neste caso dois termopares devem ser usados e a diferença entre essas temperaturas deve ir para zero. Ressalta-se que no domínio da frequência a escolha da posição dos termopares na superfície da amostra também está associada ao cálculo numérico da transformada rápida de Fourier (FFT). Uma vez que para seu melhor desempenho os sinais nesse caso os sinais de temperatura devem tender a zero. A localização dos sensores de temperatura também deve ocorrer em regiões onde se tenha uma evolução significativa da diferença de temperatura ($\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$). Para verificar esse fato observou-se os perfis de temperatura na superfície da amostra. Nas Figuras (3b e 3b) têm-se um esboço dos perfis de temperatura na superfície da amostra. Nesse caso nota-se que o gradiente de temperatura na amostra de PVC se encontra no eixo y (Fig. 4). Como nesse caso o modelo usado é unidimensional a escolha da posição ótima é feita na direção onde está presente o gradiente de temperatura. Uma análise bastante importante a ser feita é sobre o comportamento dos coeficientes de sensibilidade. O primeiro coeficiente analisado é $S_{\varphi, \alpha}$, definido como a primeira derivada da fase em relação a α (Eq. 11). A Figura 4a mostra o comportamento do $S_{\varphi, \alpha}$ no domínio da frequência. Observa-se a partir de 0,001 Hz a $S_{\varphi, \alpha}$ torna-se constante indicando que a partir dessa frequência se tem pouca informação para estimação de α . Uma análise nesta figura revela que apenas os três primeiros pontos, tirando o primeiro são necessários para a determinação da difusividade térmica. O outro coeficiente de sensibilidade, $S_{\Delta\varphi, \lambda}$, diz respeito a primeira derivada da diferença de temperatura em relação a λ (Eq. 12). Altos valores desse coeficiente revelam um bom indicativo para estimação de λ . A princípio todos os 4096 pontos poderiam ser usados para a obtenção de λ (Fig. 4b). Entretanto, apenas os dados experimentais relativos a 100 s de duração do experimento foram usados. Esse procedimento de fato tenta otimizar os dados experimentais no domínio do tempo.

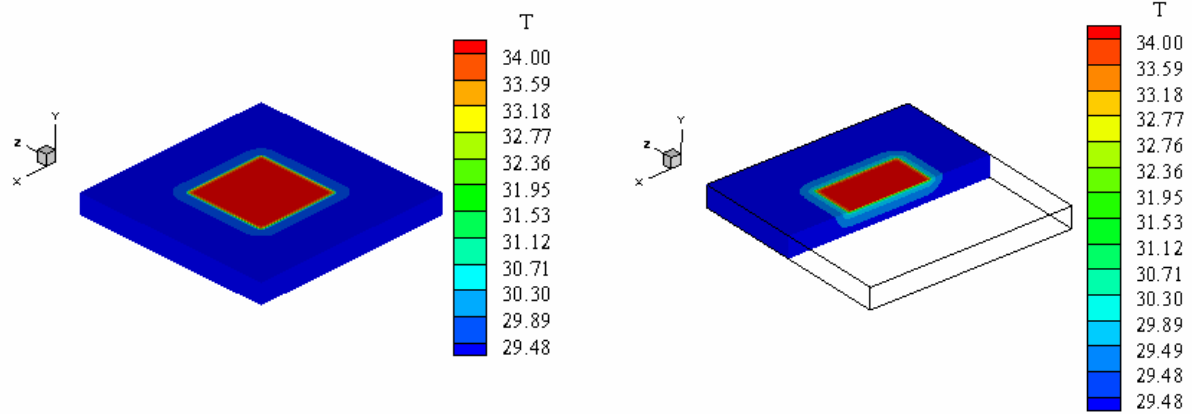


Figura 3 - Perfil de temperatura em (°C) na amostra de PVC a) no plano xz b) no eixo y

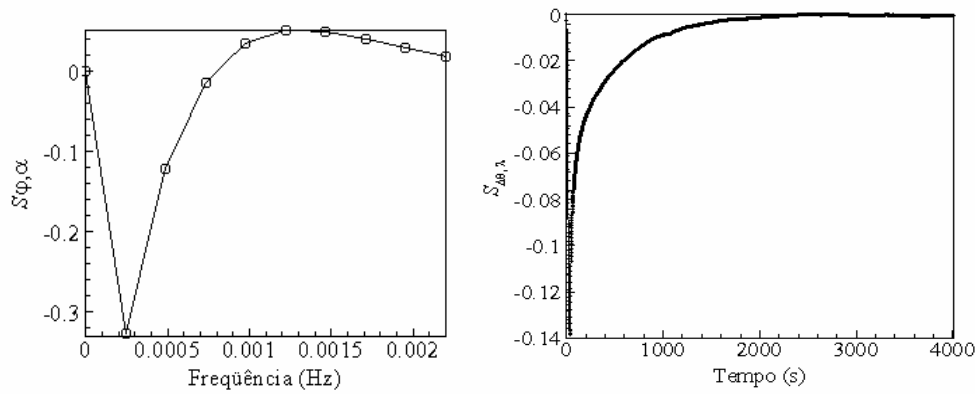


Figura 4 – Coeficiente de sensibilidade a) da fase em relação a α b) da temperatura em relação a λ

$$S_{\varphi, \alpha} = \frac{\alpha}{\varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial \alpha} \quad (11)$$

$$S_{\Delta\theta, \lambda} = \frac{\lambda}{T} \frac{\partial T}{\partial \lambda} \quad (12)$$

4. MONTAGEM EXPERIMENTAL

Nesta parte descreve-se a montagem experimental para a determinação de α e λ do PVC (Fig. 5). A amostra de PVC é disposta no forno com temperatura controlada e as propriedades são estimadas a partir de um calor adicional de aproximadamente 4,5 °C. A evolução da temperatura é medida na superfície superior e inferior da amostra através da disposição de dois termopares do tipo na T na amostra. O sinal de fluxo na superfície é medido com um transdutor de fluxo de calor previamente calibrado. Essas sinais medidos de temperatura e fluxo de calor são adquiridos usando o sistema de aquisição de dados HP 75000 SERIES B, comandado por um computador. A temperatura do forno é controlada através do acoplamento de um controlador ao forno. Ressalta-se que a temperatura da sala também era controlada (25 °C). Para cada condição de temperatura imposta no controlador (20 °C, 27 °C, 36 °C, 43 °C, 50 °C, 58 °C e 65 °C) são realizados 20 experimentos.

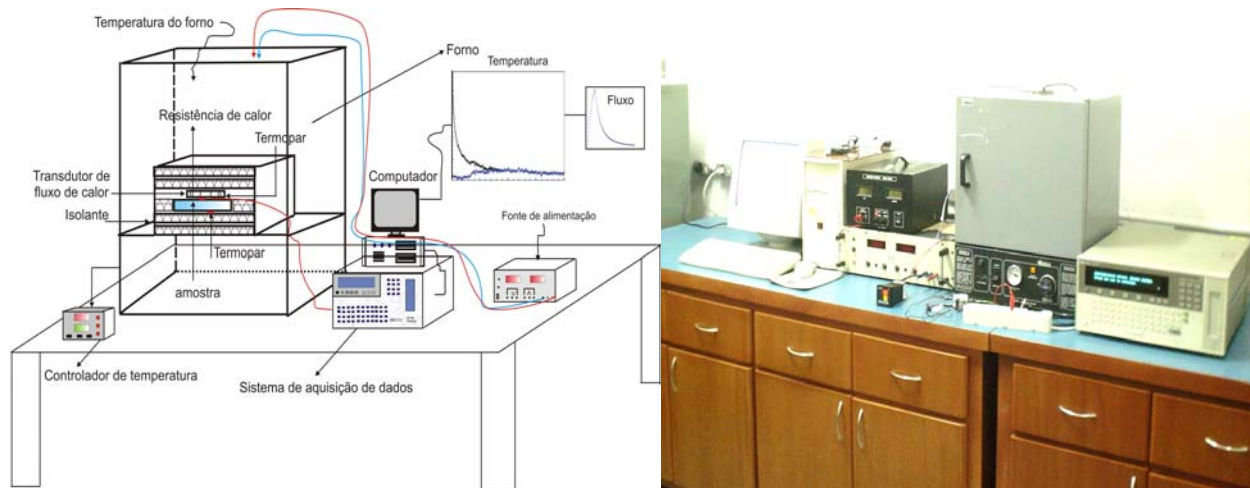


Figura 5 - Montagem experimental

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresenta-se uma análise dos resultados obtidos para estimação das propriedades α e λ variando com a temperatura para a amostra de *Policloreto de Vinila* (PVC). A amostra analisada possui 245 x 25 x 245 mm de dimensões. As propriedades são determinadas nas temperaturas médias iniciais de 20,81 °C; 27,89 °C; 37,40 °C; 43,44 °C; 50,01 °C; 58,14 °C e 65,89 °C sendo que para cada temperatura investigada são realizados 20 experimentos. Para cada experimento são adquiridos 4096 pontos, sendo que o intervalo de medição é de 1 s. O tempo de duração do aquecimento é de aproximadamente 30 s com um pulso de calor gerado da ordem de 8,5 V (dc). Nas Figuras (6a) e (6b) tem-se os sinais típicos de fluxo de calor e temperatura aplicados na superfície da amostra de PVC para a temperatura média de 27,89°C.

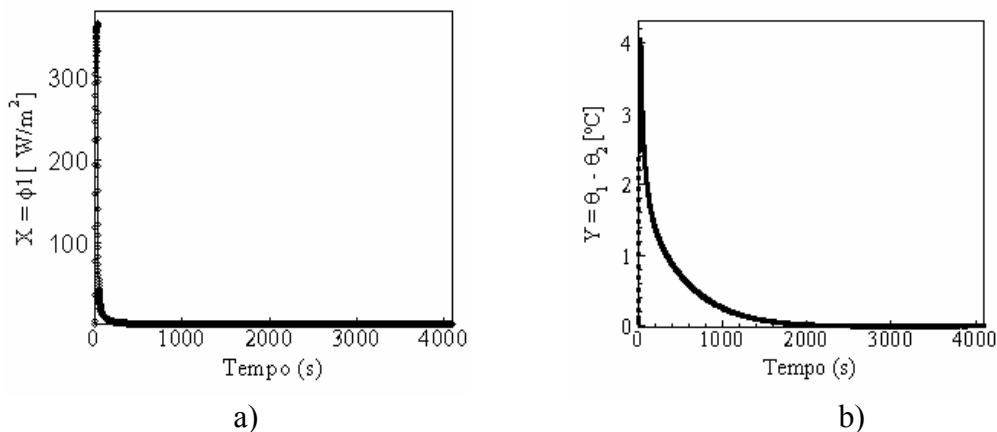


Figura 6 - a) Evolução do sinal de entrada b) Evolução do sinal de saída

Como é necessário que o forno mantenha a temperatura da amostra o mais próximo possível da temperatura na qual se deseja medir as propriedades. Na Figura 7 têm-se as evoluções das temperaturas medidas para cada uma das temperaturas média investigada e a temperatura do forno. Observa-se que a temperatura do forno em se mantém bem próxima à temperatura inicial da amostra. Uma comparação entre as fases experimentais e teóricas e o seu resíduo é mostrada respectivamente nas Figs. (8a) e (8b). Nas Figuras (9a) e (9b) têm-se respectivamente as comparações entre as temperaturas experimentais e calculadas e o resíduo entre essa duas temperaturas. A análise de resíduo foi feita para um experimento típico na temperatura média do forno de 27,89 °C e para os valores estimados de α e λ de $1,26 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e 0,161 W/mK, respectivamente.

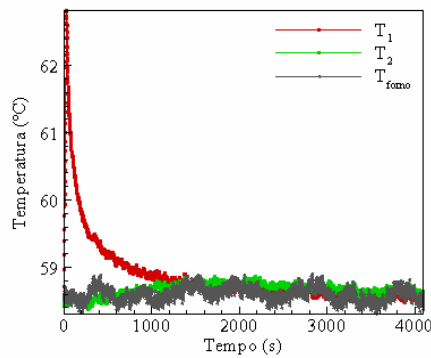
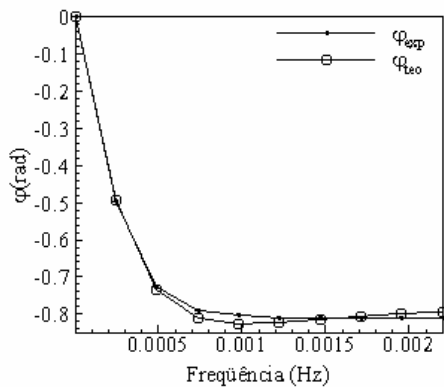
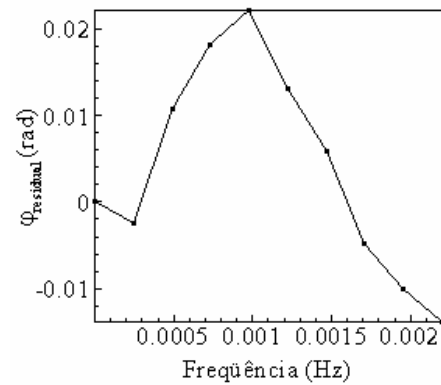


Figura 7 - Temperaturas experimentais para o caso da temperatura média do forno de 58,02 °C

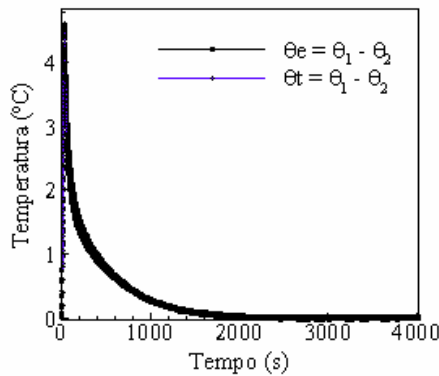


a)

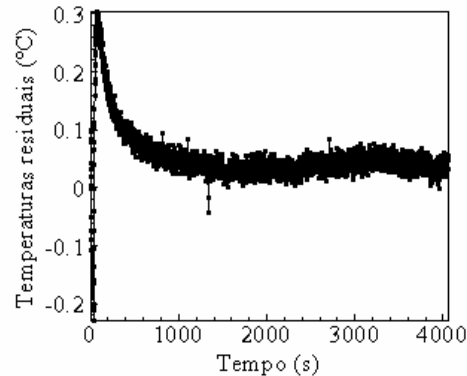


b)

Figura 8 - Fase a) experimental e calculada b) residual



a)



b)

Figura 9 - Evolução da temperatura a) experimental e calculada b) residual

Observa-se na Fig. (8b) que o resíduo entre a fase teórica e experimental é baixo, ou seja, o experimento conseguiu representar bem a condição real. Já para as temperaturas observa-se que a diferença entre as temperaturas vai para zero, ou seja, atende ao princípio da técnica utilizada e o resíduo se situa dentro da incerteza do termopar cerca de $\pm 0,3$ °C. Nas Tabela 1 e Figura 10 são apresentados respectivamente os valores médios estimados de α e λ nesse trabalho, ressalta-se que para cada temperatura analisada foram realizados 20 experimentos. Os valores médios da difusividade térmica e condutividade térmica, respectivamente foram feitos utilizando o utilizando “Critério de Chauvenet”, (Doebelin, 1990). Obteve-se valores de referência para o α somente para a temperatura média de 27,89 °C. Esses valores de referência foram obtidos usando-se o método Flash (Lima e Silva et al, 2003). Já para a condutividade térmica os valores estimados para todas temperaturas são comparados na Fig. (10) com a curva 7 da referência Touloukian et al (1970) e as

demais são retiradas do livro Technology of Plasticizers (Sears and Darby 1982) onde em cada uma delas apresenta uma concentração de plastificante diferente utilizado na amostra de PVC.

Tabela 1 - Valores médios determinados de α para o PVC com 99 % de confiança

<i>Temperatura média inicial °C</i>	$\alpha(m^2/s) \cdot 10^7$	<i>Referência</i> $\alpha(m^2/s) \cdot 10^7$	<i>Diferença (%)</i>
20,81	$1,30 \pm 3,18 \%$	-	-
27,89	$1,26 \pm 2,88 \%$	1,28	1,59
37,40	$1,29 \pm 3,81 \%$	-	-
43,44	$1,28 \pm 5,38 \%$	-	-
49,34	$1,28 \pm 1,74 \%$	-	-
58,14	$1,29 \pm 1,82 \%$	-	-
65,89	$1,29 \pm 1,86 \%$	-	-

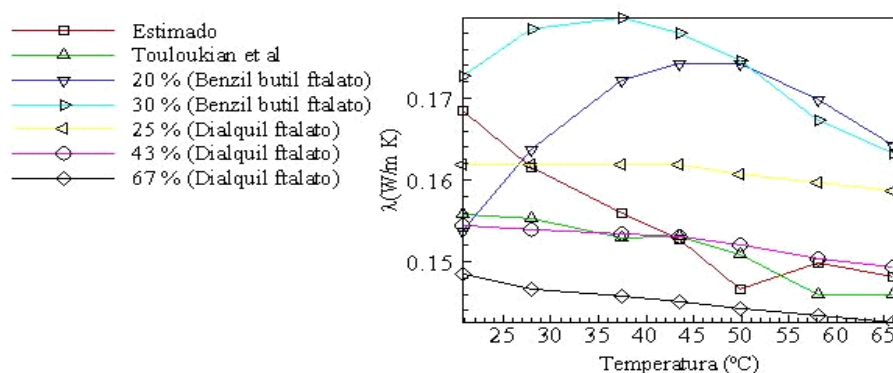


Figura 10 - Resultados da condutividade térmica

Pode-se observar que as condutividades térmicas determinadas na maioria das curvas apresentam o mesmo comportamento, ou seja, decaem com aumento da temperatura. Esse decaimento pode ser explicado pela dilatação da amostra com o aumento da temperatura levando em consideração que a medida que se aumenta a temperatura a amostra sofre uma dilatação ou seja muda a sua morfologia. Embora essa dilatação seja visualmente muito pouco, ela provoca uma mudança considerável nas propriedades da amostra.

6. CONCLUSÕES

Pode-se observar que a técnica experimental proposta se mostrou adequada para estimação das propriedades térmicas variando com a temperatura visto que pequenos desvios foram observados. O sucesso na determinação das propriedades foi devido a existência de um significativo gradiente de temperatura existente na espessura da amostra de PVC, fato este que determina a localização dos sensores de temperatura nas superfícies inferior e superior da amostra.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo suporte financeiro. Aos M. Sc. Eng. Valério Luiz Borges e Eng. Cleber Spode pelo apoio técnico.

8. REFERÊNCIAS

Borges, V. L., Lima e Silva, S. M. M. & Guimarães, G., 2005, A Dynamic Thermal Identification Method Applied to Conductor and Non Conductor Materials, Accepted for publication in the Inverse Problems in Science & Engineering and it was originally sent to the Inverse Problems, Design and Optimization Symposium, Taylor & Francis Group, United Kingdom.

- Bendat, J. S. and Piersol, A. G., 1986, "Analysis and Measurement Procedures", Wiley-Interscience, 2^o ed., USA, 566p.
- Doebelin, E. O., 1990, "Measurement Systems", 4th ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Guimarães, G., 1993, "Estimação de Parâmetros no Domínio da Frequência para a Determinação Simultânea da Condutividade e Difusividade Térmica", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Kim S., Kim M. C., Kim K. Y., 2003, "Estimation of Temperature-Dependent Thermal Conductivity With a Simple Integral Approach", Int. Comm. Heat Transfer, vol. 30, n° 4, p. 485-494.
- Lesnic D, et all, 1995, "A Note on The Determination of Thermal Properties a Material in a Transient Nonlinear Heat Conduction Problem" Department of Applied Mathematical Studies, University of Lees, Int.Comm.Heat Mass Transfer, Vol.22, No.4, pp.475-482.
- Lima e Silva, S. M. M., Ong, T. H. and Guimarães, G, 2003, "Thermal Properties Estimation of Polymers Using Only One Active Surface", J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences, Copyright 2003 by ABCM, vol. XXV/9, pp. 9-14.
- Sears, J. K. and Darby, J. R., 1982, "Technology of Plasticizers", John Wiley & Sons, 1180 p.
- Touloukian, Y. S., Powell, R. W., Ho, C. Y. and Klemens, P. G., 1970, "Thermophysical Properties of Matter - Volume 2", Thermal Conductivity: Nonmetallic Solids, IFI/Plenum, New York, 933 p.
- Vanderplaats, G. N., 1984, "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design", McGraw-Hill Inc.

SIMULTANEOUS ESTIMATION OF THE THERMAL DIFFUSIVITY AND THERMAL CONDUCTIVITY TEMPERATURE DEPENDENT

Amanda Ribeiro Tillmann
artillmann@mecanica.ufu.br

Gilmar Guimarães
gguima@mecanica.ufu.br

Sandro M. M Lima e Silva
metrevel@mecanica.ufu.br

School of Mechanical Engineering, FEMEC - Federal University of Uberlândia, UFU - Uberlândia - MG – Brazil

Abstract: *This work proposes an experimental technique for simultaneous estimation of the thermal diffusivity, α and thermal conductivity, λ varying with temperature of insulation materials. The thermal model used considers a transient one-dimensional heat transfer problem. In this model a heat flux is imposed on the frontal surface and the sample is isolated on the opposite surface. The majority of the existent techniques determine α and λ in room temperature or using simulated experimental data. However, in many processes the variation of these thermal properties with temperature must be considered. The simultaneous determination of these properties is done by using the principle of the Mixed technique. In this technique two objectives functions are defined, one in the frequency domain and another in the time domain. The objective function in the frequency domain is based on the square difference between experimental and calculated values of the phase angle. While the other objective function is the least square error function of experimental and calculated signals of temperature. The properties α and λ are obtained by using an experimental apparatus that basically consists of a Polyvinyl Chloride (PVC) sample exposed to different temperatures inside an oven. The temperature inside the oven is controlled by a PID temperature controller. The properties α and λ were estimated for 7 (seven) points of average temperature in a range from 20 °C to 66 °C. The properties are determined with an additional heating of approximately 4.5 °C on the frontal surface. Analysis are also made for the determination of the sensors location and the region of determination of the properties. The posterior stage is determining the properties α and λ varying with temperature through the proposed technique.*

Keywords: *Thermal properties estimation, Heat conduction, Optimization, Experimental methods*