

**MERCOFRIO 2016 - CONGRESSO INTERNACIONAL DE
AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO**

**DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA, CONDUTIVIDADE E DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE
SUPERFÍCIES**

Bruno Henrique Oliveira Mulina, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, brunomulina@gmail.com

Francisco Sales Mudo, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, fsamudo@hotmail.com

Valério Luiz Borges, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, vlborges@mecanica.ufu.br

Solidônio R. de Carvalho, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, srcarvalho@mecanica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC - Bloco 1M, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

F7 - Generalidades: Fontes Energéticas; Sustentabilidade; Medição e Instrumentação

Resumo. Em aplicações industriais ou na avaliação do conforto térmico de edificações faz-se necessário um método ou técnica experimental para determinar in situ e, simultaneamente, as propriedades térmicas e a temperatura interna de superfícies. Na indústria a temperatura é o principal parâmetro mensurado e representa um ótimo indicativo do estado de operação de equipamentos. Desse modo, o estudo da variação da temperatura ao longo do tempo permite identificar a necessidade de manutenção de equipamentos industriais. No entanto, a grande maioria dos processos industriais não possuem sensores térmicos em sua parte interna. Logo, é comum na indústria que as condições de funcionamento sejam definidas com base em temperaturas medidas na parte externa, como por exemplo, na superfície ou carcaça de máquinas. Em edificações o uso de um método capaz de medir in situ a condutividade e a difusividade térmica média de superfícies auxiliaria na análise e certificação do conforto térmico. No entanto, seja em uma superfície de um equipamento industrial ou em uma parede de uma edificação, a temperatura depende fortemente da fonte de calor e de efeitos convectivos e radiativos oriundos do meio, o que pode acarretar em incertezas no processo de medição. Com o objetivo de alcançar os objetivos propostos este trabalho apresenta um método numérico-experimental não invasivo que, a partir de um modelo térmico transiente unidimensional e problemas inversos em transferência de calor, determina a temperatura interna e estima as propriedades térmicas da superfície, a saber: condutividade e difusividade térmica. Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos para experimentos simulados com materiais metálicos e não-metálicos. Posteriormente, a técnica é aplicada para determinação das propriedades térmicas e da temperatura interna de experimentos em laboratório. Os resultados obtidos até o presente momento demonstram que se trata de uma técnica promissora.

Palavras-chave: Temperatura, propriedades térmicas, problemas inversos, métodos não invasivos.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é um parâmetro mensurável aplicado largamente para determinar as condições de um processo. Na indústria, permite controlar o processo produtivo, e a qualidade final do produto. Avaliando-se as propriedades térmicas e a temperatura interna é possível certificar o conforto térmico de uma edificação. Em equipamentos como motores elétricos e transformadores, ou mancais, é possível avaliar o desempenho, condições de trabalho e sua vida útil. Na medicina, a correta determinação da temperatura interna pode ser a diferença entre um tratamento bem sucedido ou a piora no estado de saúde do paciente.

Quando a temperatura de interesse está localizada em uma região inacessível, diversas técnicas podem ser aplicadas de modo a estimar seu valor. Ultrassom (Ihara e Takahashi, 2011), radiometria (Scheeler, 2011), termografia infravermelho são algumas das técnicas aplicadas para determinação indireta da temperatura. Alguns sensores permitem determinar a temperatura conhecendo as condições na superfície acessível, como o *Zero Heat Flux* (Fox et al., 1973), *Double Sensor* (Gunga et al., 2008) e *Dual Heat Flux* (Kitamura, 2010). Um detalhe em comum a estas técnicas é que funcionam bem apenas em regime permanente. Em problemas térmicos transientes, faz-se necessária uma modelagem térmica do processo térmico em questão.

Porém a solução correta do modelo térmico depende fortemente das propriedades térmicas das partes que compõem o sistema instrumentado e das condições de contorno, características estas, por vezes, desconhecidas. Nesse sentido, faz-se necessário o uso de técnicas eficientes para a determinação das propriedades térmicas dos materiais envolvidos. Tais técnicas em muitos casos determinam apenas uma das propriedades térmicas, sendo necessárias diferentes configurações experimentais para determinação completa das propriedades térmicas do sistema.

Para determinação das propriedades térmicas de uma superfície bem como sua temperatura interna, Mulina (2016) propõe a concepção e o desenvolvimento de uma metodologia teórica/experimental. A técnica se utiliza de dados

obtidos da face externa, acessível, para desenvolvimento de um modelo unidimensional transiente, chamado Modelo Diferença. Por meio da solução inversa do modelo térmico nos domínios da frequência e do tempo, é possível estimar a condutividade e a difusividade térmica da amostra, além da temperatura interna da superfície. Trata-se de uma técnica que pode ser aplicada *in situ*, diretamente na superfície de interesse.

O presente trabalho tem por intuito a apresentação dos resultados obtidos por Mulina (2016) para um conjunto de experimentos reais e simulados, aplicado em superfícies com diferentes geometrias e propriedades térmicas. Com base nos resultados obtidos é possível que a aplicação da técnica desenvolvida se estenda para outras áreas, tais como: conforto térmico de edificações, controle de temperatura interna de equipamentos industriais e até mesmo na medição da temperatura corpórea.

2. DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO PARA O PROBLEMA TÉRMICO

A Fig. 2.1a apresenta um esquema do modelo térmico a ser estudado, onde Q_h e Q_R representam os fluxos de calor dissipados pela superfície por convecção e/ou radiação, Q_i o fluxo de calor ao qual a superfície está submetida seja também por convecção ou radiação, T_i a temperatura interna, k e α a condutividade e a difusividade térmica, respectivamente.

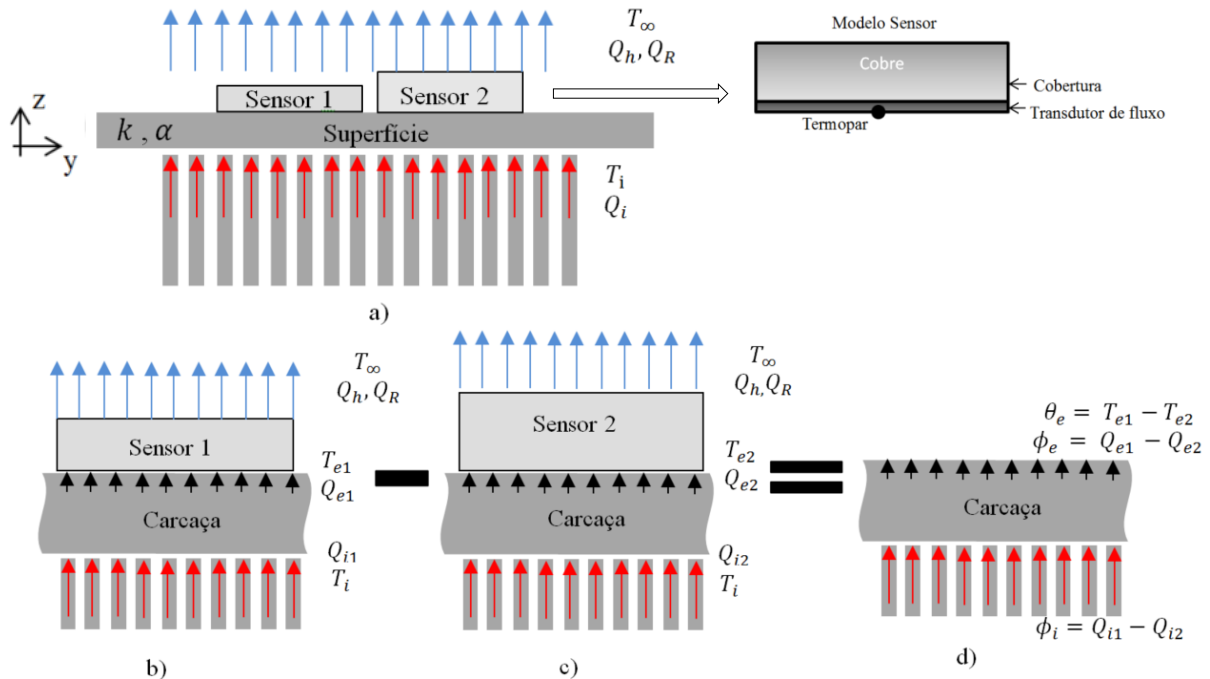


Figura 2.1. Problema térmico: a) Problema térmico geral: fluxo de calor imposto na superfície interna, e dissipação de calor e sensores posicionados na face externa; b) Problema térmico 1; c) Problema térmico 2; d) Problema térmico "Diferença".

O método consiste em medir temperaturas e fluxos de calor na face acessível da superfície e, a partir de dados experimentais, técnicas de otimização e modelagem térmica, estimar a difusividade, condutividade térmica e a temperatura interna da superfície. Para tanto, foram desenvolvidos em laboratório os sensores 1 e 2 (Fig. 2.1a). Cada sensor é posicionado sobre a superfície e a montagem segue a seguinte sequência: pasta térmica é aplicada sobre a superfície, em seguida é posicionado o sensor constituído de um termopar tipo T 1Px30AWG Teflon, um transdutor de fluxo de calor e uma cobertura retangular com material condutor de calor, neste caso cobre. O que difere o sensor 1 do sensor 2 é apenas a espessura da cobertura de cobre. As coberturas com espessuras distintas quando aplicadas à superfície proporcionam localmente, na região abaixo de cada sensor, dois problemas térmicos também distintos.

Mulina (2016) realizou simulações tridimensionais transientes e adotou valores teóricos para as propriedades térmicas dos sensores, superfície e condições de contorno e comprovou que os problemas descritos nas Figs. 2.1b e 2.1c são distintos e que ambos podem ser tratados como unidimensionais.

Na prática, os problemas térmicos descritos nas Figs. 2.1b e 2.1c não podem ser resolvidos de forma direta, devido à quantidade de variáveis desconhecidas, tais como: as trocas térmicas por convecção e radiação entre a superfície, sensores e o meio, o fluxo de calor imposto na face interna e as propriedades térmicas da superfície. Todavia, verificou-se que subtraindo o problema térmico apresentado na Fig. 2.1b, daquele apresentado na Fig. 2.1c, tem-se o um modelo térmico simplificado, denominado Modelo Diferença (Fig. 2.1d), que pode ser descrito conforme as Eqs. (1) a (4).

$$\frac{\partial^2 \theta(z,t)}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta(z,t)}{\partial t} \quad (1)$$

Submetido às condições de contorno e inicial:

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \phi_i(t) = Q_{i1}(t) - Q_{i2}(t) \quad (2)$$

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=c} = \phi_e(t) = Q_{e1}(t) - Q_{e2}(t) \quad (3)$$

$$\theta_0(z, 0) = 0 \quad (4)$$

Neste novo modelo, elimina-se a influência do meio externo, responsável pelas trocas térmicas por convecção e radiação. Assim, a solução do problema passa a ser condicionada ao conhecimento das propriedades termofísicas, temperaturas e fluxos de calor na superfície. Assim, na sequência apresentam-se as metodologias matemáticas/computacionais para estimar tais parâmetros desconhecidos.

2.1. Estimativa da difusividade e condutividade térmica

A partir de temperaturas e fluxos de calor medidos na face externa da superfície durante um determinado período de tempo (Fig. 2.1a), a técnica matemática e computacional inicialmente realiza os cálculos no domínio da frequência por meio de uma função transferência ($Z(f)$) de forma a determinar a difusividade térmica da superfície (α) e o fluxo de calor interno $\phi_i(t)$ imposto ao Modelo Diferença. Neste caso, aplicou-se a técnica de Impedância Generalizada no domínio da frequência e a *Fast Fourier Transform* (Cooley e Tukey, 1965).

$$Z(f) = \frac{\theta_e(f)}{\phi_e(f) - \phi_i(f)} = |Z(f)|e^{-j\varphi(f)} \quad (5)$$

Por meio da análise da Eq. (5), verifica-se que a metodologia basicamente relaciona os sinais de saída e de entrada no domínio da frequência, representados, respectivamente, pelas temperaturas e fluxos de calor nas faces superior e inferior da superfície. O fluxo $\phi_e(f)$ e a temperatura $\theta_e(f)$ na face superior da superfície são obtidos a partir da diferença entre valores medidos pelos sensores 1 e 2. Já o fluxo na face inferior é desconhecido $\phi_i(f)$ e este é estimado por meio de técnicas inversas em transferência de calor. Por meio do método da Evolução Diferencial (Storn and Price, 1995) e de uma função erro quadrática (Eq. 6), definida pela relação entre as fases experimentais e calculadas, é possível estimar o par (ϕ_i^*, α^*) que proporciona o mínimo global da função erro adotada. Tais valores representam, respectivamente, os valores “ótimos” para o fluxo de calor interno aplicado ao modelo diferença e a difusividade térmica da superfície.

$$E_{\varphi(\phi_i^*, \alpha^*)} = \sum_{i=1}^{fn} (\varphi_e(\phi_i, \alpha) - \varphi_c(\phi_i^*, \alpha^*))^2 \quad (6)$$

Conhecidos tais parâmetros, estima-se a condutividade térmica k da superfície a partir do Modelo Diferença no domínio do tempo. Nesta etapa é aplicada uma técnica inversa também baseada em uma função erro quadrática (Eq. 7). Neste caso são relacionadas as temperaturas calculadas $\theta_c(t)$ e experimentais $\theta_e(t)$ medidas na face externa do modelo diferença (Fig. 2.1d). Por se tratar de uma função que possui apenas um único mínimo global, adotou-se o método de otimização da Seção Áurea com Aproximação Polinomial Cúbica (Vanderplaats, 1984) de forma a estimar o valor da condutividade térmica.

$$E_k = \sum_{t=1}^N (\theta_e(t) - \theta_c(t))^2 \quad (7)$$

Para solução do Modelo Diferença no domínio do tempo são aplicadas as condições de contorno definidas nas Eqs. (2) a (4), ou seja: a temperatura $\theta_e(t)$ medida experimentalmente na face externa da superfície, a temperatura calculada pela técnica inversa $\theta_c(t)$, e o fluxo de calor $\phi_i(t)$, previamente estimado na etapa anterior, juntamente com a difusividade térmica α .

2.2. Estimativa do fluxo de calor $Q_i(t)$ e temperatura na face interna da superfície

Definidas as propriedades térmicas do sistema, é possível determinar a temperatura interna e o fluxo de calor $Q_i(t)$ da superfície instrumentada. Neste caso, o fluxo de calor interno $Q_i(t)$ é tratado como um parâmetro constante. Assim, considerando os dois problemas térmicos unidimensionais formados pelos sensores 1 e 2, submetidos às condições de

contorno descritas nas Fig. 2.1b e Fig. 2.1c, são resolvidos simultaneamente os dois problemas térmicos considerando que $Q_{i1} = Q$ e $Q_{i2} = Q + \phi_i$. O valor de Q é estimado usando novamente a Seção Áurea e uma função erro quadrático que relaciona as temperaturas numéricas e experimentais na face externa da superfície. Finalmente, a temperatura interna é definida a partir da média entre as temperaturas internas calculadas para cada modelo térmico.

3. ESTUDO DE CASO

Para avaliar o desempenho da técnica foram montados dois experimentos reais. O primeiro consistiu em uma superfície com baixa condutividade térmica. Neste caso, usou-se uma amostra de policloreto de polivinila (PVC). No segundo, optou-se por uma superfície com condutividade térmica superior, neste caso, amostras de aço microligado disponíveis em laboratório. A escolha de tais materiais foi baseada na vasta literatura científica que reporta suas propriedades térmicas.

3.1. Experimentos reais com amostras de PVC e aço microligado DIN 38MnSiVS5

A Fig. 3.1 mostra a disposição dos sensores na amostra. A Tabela (3.1) apresenta os dados experimentais para a amostra de PVC.

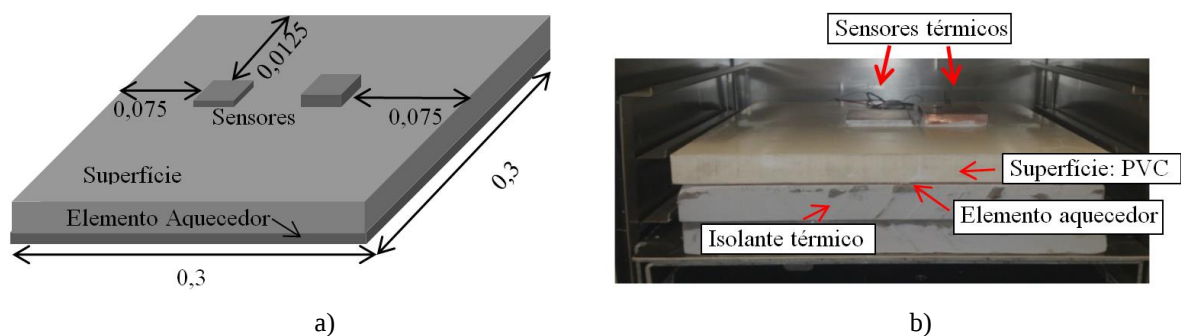


Figura 3.1. Superfície de PVC: a) Dimensões e disposição dos sensores. b) Experimento real.

Tabela 3.1. Parâmetros experimentais para o PVC

Superfície		
Material		PVC
Dimensões da amostra [m]	x	0,3
	y	0,3
	z	0,025
Sensores		
Material		Cobre
Difusividade térmica [m^2/s] * 10^7		142
Condutividade térmica [W/mK]		398
Dimensões do sensor 1 [m]	x	0,05
	y	0,05
	z (e_1)	0,002
Dimensões do sensor 2 [m]	x	0,05
	y	0,05
	z (e_2)	0,006
Dados experimentais		
Intervalo de aquisição [s]		4,12
Duração do experimento [s]		4219
Numero de pontos		1024
Temperatura média [°C]		25
Dimensões da resistência [m x m]		0,3 x 0,3

A Fig. 3.2 apresenta a temperatura $\theta_e(t)$ e o fluxo de calor $\phi_e(t)$ medidos experimentalmente na superfície de PVC.

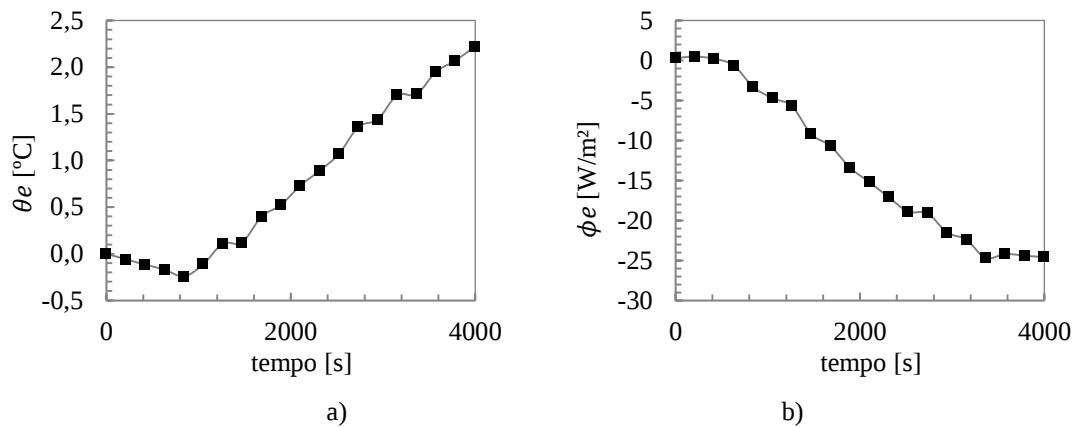


Figura 3.2. Dados experimentais do Modelo Diferença. a) Temperatura θ_e . b) Fluxo de calor externo ϕ_e .

Para os experimentos com o aço microligado, realizou-se uma montagem experimental conforme a Fig. 3.3, na qual S_1 e S_2 são os sensores térmicos instalados sobre as superfícies. Neste caso as superfícies disponíveis em laboratório eram cilíndricas e estas foram posicionadas sobre uma resistência elétrica (elemento aquecedor). A Tab. 3.2 apresenta os parâmetros experimentais.

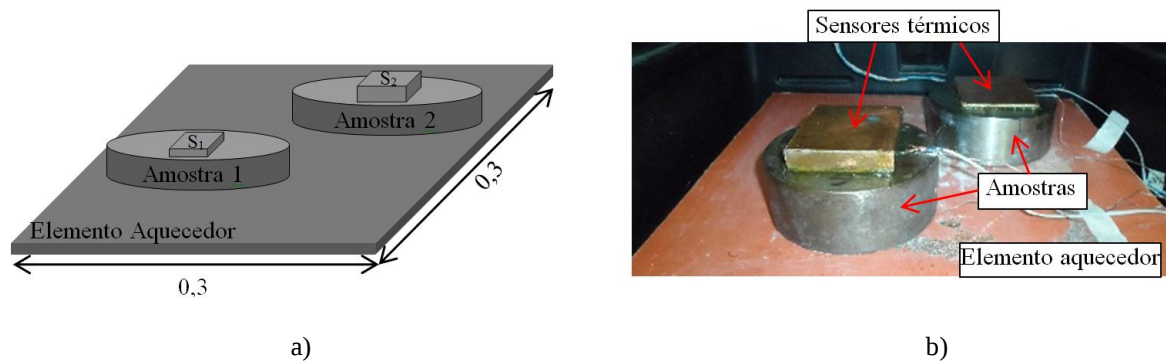


Figura 3.3. Experimento realizado para aço microligado. a) Esquema. b) Montagem experimental.

Tabela 3.2. Parâmetros experimentais para o aço microligado DIN 38MnSiVS5.

Superfícies		
Material	AÇO MICROLIGADO	
Dimensões das amostras [m]	ϕ	0,05
	z	0,0386
Sensores		
Material	Cobre	
Difusividade térmica [m^2/s] * 10^7	142	
Condutividade térmica [W/mK]	398	
Dimensões do sensor 1 [m]	x	0,05
	y	0,05
	z (e_1)	0,002
Dimensões do sensor 2 [m]	x	0,05
	y	0,05
	Z (e_2)	0,006
Dados experimentais		
Intervalo de aquisição [s]	1	
Duração do experimento [s]	635	
Numero de pontos	635	
Temperatura média [°C]	25	
Dimensões da resistência [mxm]	0,3 x 0,3	

Os dados experimentais $\phi_e(t)$ e $\theta_e(t)$ medidos na superfície das amostras são apresentados na Fig. 3.4.

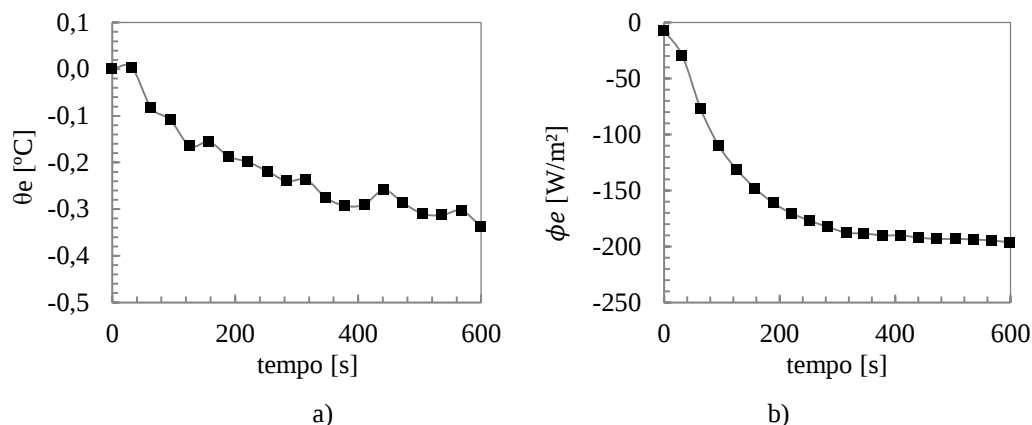


Figura 3.4. Dados experimentais do Modelo Diferença. a) Temperatura θ_e . b) Fluxo de calor externo ϕ_e .

4. RESULTADOS

4.1. Estimativa das propriedades térmicas

Foram realizadas 30 repetições para os experimentos reais com as amostras de PVC e aço microligado. As Tabs. 4.1 e 4.2 apresentam os valores médios obtidos para difusividade e condutividade térmica do PVC e do aço microligado e comparações com dados encontrados na literatura científica.

Tabela 4.1. Comparativo entre valores de α e k obtidos para o PVC.

	Presente Trabalho (a 25°C)	Borges (2008) (a 30°C)	Goodfellow (2007) (a 23°C)	IPT (2004) (a 26°C)	Efunda (2007)
α (m²/s) $\times 10^7$	1.19 (± 0.274)	1.157	1.143	-	-
k (W/mK)	0.18 (± 0.035)	0.159	0.12 – 0.25	0.16	0.146– 0.209

Tabela 4.2. Comparativo entre valores de α e k obtidos para o aço microligado.

	Presente Trabalho (a 25°C)	Souza (2009) (a 30°C)	Chaudhuri <i>et al.</i> (2002)
α (m²/s) $\times 10^6$	9.88 ($\pm 0,74$)	9.62	-
k (W/mK)	38.69 ($\pm 2,67$)	40.58	27 - 41

Uma vez calculadas as propriedades térmicas e condições de contorno, determinou-se a temperatura interna das superfícies. A Fig. 4.1 apresenta os resultados obtidos.

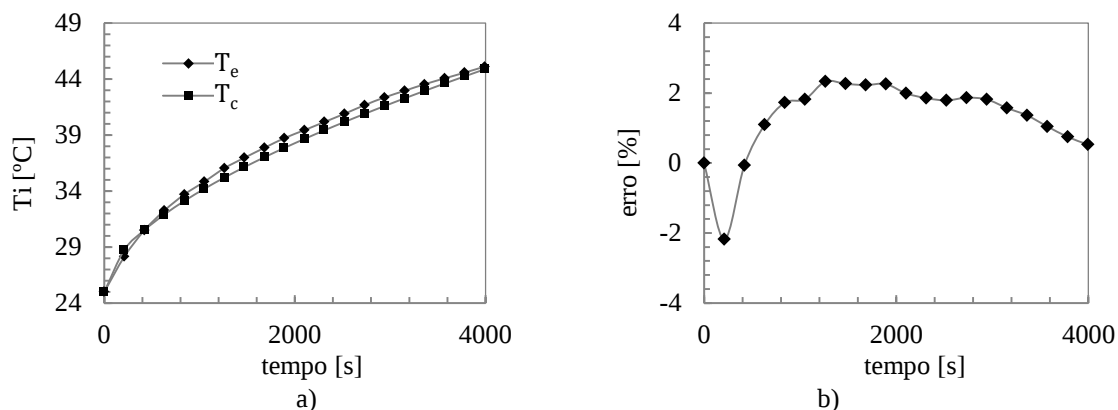


Figura 4.1. Variação da temperatura interna para um experimento padrão com o PVC: a) $T_e(t)$ temperatura experimental e $T_c(t)$ calculada. b) Erro relativo.

Para fins de comparação e validação do modelo térmico, durante os experimentos foi instalado um termopar tipo T na face inferior de cada uma das superfícies de forma a medir a temperatura das amostras de PVC e aço microligado. Para o experimento com o PVC o erro relativo máximo entre as temperaturas experimentais, T_e , e calculadas, T_c , foi de 2%.

A Fig. 4.2 apresenta a comparação entre temperaturas experimentais e calculadas para o experimento com o aço microligado.

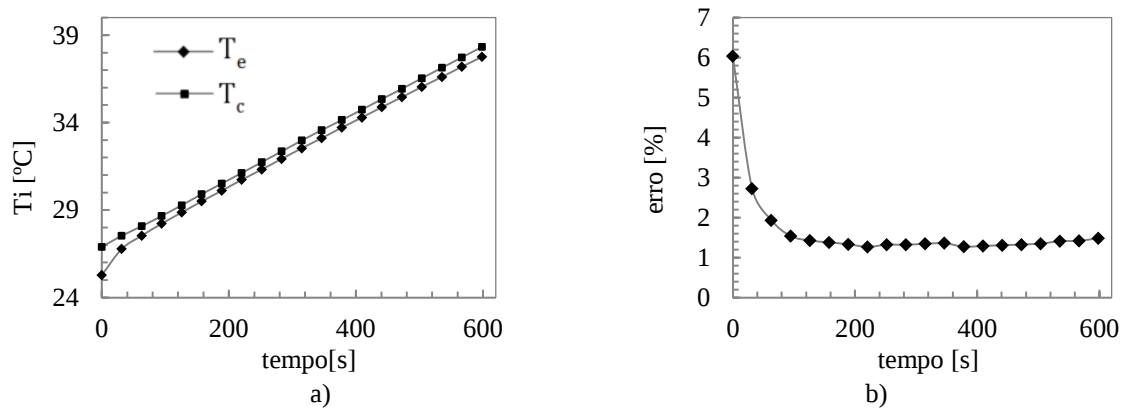


Figura 4.2. Variação da temperatura interna para um experimento padrão com o aço microligado: a) $T_e(t)$ temperatura experimental e $T_c(t)$ calculada. b) Erro relativo.

A validação do método é realizada por meio do estudo das temperaturas internas calculadas e experimentais, apresentadas nas Figs. 4.1 e 4.2.

Avaliando o erro relativo para o experimento com aço microligado (Fig. 4.2), verifica-se que o mesmo atinge um valor máximo nos segundos iniciais (cerca de 6%) e depois diminui para valores abaixo de 1,5%. Tal comportamento pode ser explicado pela diferença de temperatura inicial entre superfície e sensores 1 e 2. Quando os sensores são posicionados sobre a superfície o principal mecanismo de troca térmica é por condução térmica. Logo, nos segundos iniciais de contato superfície e sensores interagem de forma a alcançar o equilíbrio térmico. Tal aspecto é claramente identificado na Fig. 4.2b, durante os 80 segundos iniciais de experimento. Posteriormente, com o equilíbrio térmico alcançado, os sensores começam efetivamente a medir a variação de temperatura da superfície.

No caso do modelo térmico como a temperatura inicial e o fluxo são impostos, não surge tal problema, o que justifica o erro relativo máximo de 6% nos segundos iniciais.

5. CONCLUSÕES

A ausência de sensores não invasivos para o monitoramento da temperatura interna de equipamentos industriais foi o grande motivador para o desenvolvimento do presente trabalho.

Nesse sentido, desenvolveu-se uma técnica numérica-experimental que consistiu em dois sensores térmicos distintos fixados à superfície externa da uma superfície. Cada sensor é constituído basicamente de um termopar, um transdutor de fluxo de calor e uma cobertura. Por meio dos sensores foram coletadas informações tais como: fluxo de calor e temperatura numa região externa e acessível da superfície. Em seguida, por meio de modelos térmicos unidimensionais, análises de sensibilidade e técnicas inversas em transferência de calor foram estimadas as propriedades térmicas da superfície. De posse de tais informações, estimou-se a temperatura interna.

Durante o desenvolvimento dos sensores foram encontradas dificuldades relacionadas à escolha do material a ser aplicado na cobertura e suas dimensões. Materiais com diferentes propriedades térmicas foram avaliados na construção da cobertura. Verificou-se que coberturas com características isolantes afetavam a distribuição térmica na região logo abaixo dos sensores, gerando um processo de transferência de calor tridimensional. No caso de coberturas constituídas de materiais condutores, o perfil térmico abaixo dos sensores se aproximou de um problema unidimensional, possibilitando aplicação da técnica proposta no presente trabalho.

A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que a técnica proposta tem grande potencial para ser aplicada a uma ampla faixa de materiais sólidos (condutores e não condutores de calor). A aplicação independe do tamanho e forma geométrica da superfície. Verificou-se ainda que a técnica pode ser aplicada em laboratório, em ambiente controlado, ou em campo diretamente na superfície de interesse.

Em trabalhos futuros, propõem-se usar a técnica para avaliar o conforto térmico de edificações e o funcionamento de equipamentos industriais, tais como: fornos, tubulações, carcaças de motores elétricos e mancais.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG, a Faculdade de Engenharia Mecânica e ao Programa de Pós Graduação da Engenharia Mecânica pelo apoio institucional e financeiro.

7. REFERÊNCIAS

Borges, V. L., Lima e Silva, S. M. M., Guimarães, G. 2006. A Dynamic Thermal Identification Method Applied To Conductor And Non Conductor Materials. Inverse Problems in Science & Engineering (Print), v. 14, p. 511-527.

Chaudhuri, S. P., Mahanti, R. K., Sivaramakrishnan, C. S., Singh, M. P. 2002. Physical properties of some thermomechanically processed microalloyed steels. Materials & design, v. 23, n. 5, p. 489-496.

Cooley, J. W., Tukey, J. W. 1965. An algorithm for machine calculation of complex Fourier series. Mathematics of computing, reprinted 1972. Digital signal processing. IEEE Press. New York. NY. p. 223-227.

eFunda. Inc. Vinyl polymers and copolymers. Disponível em: <http://www.efunda.com/materials/polymers/properties/polymer_datasheet.cfm?MajorID=PV&MinorID=3>. Acesso em 04/01/2016.

Fox, R. H., Solman, A. J., Isaacs, R., Fry, A. J., McDonald, I.C. 1973. A new method for monitoring deep body temperature from the skin surface. Clinical Science. vol. 44, n. 1, p. 81-6.

Goodfellow Corporation. Polyvinylchloride – Unplasticised (UPVC) Material Information. Disponível em: <<http://www.goodfellow.com/E/Polyvinylchloride-Unplasticised.html>>. Acesso em 25/03/2014.

Gunga, H.C., Sandsund, M., Reinertsen, R.E., Sattler, F., Koch, J. 2008. A non-invasive device to continuously determine heat strain in humans. Journal of Thermal Biology. v. 33. n. 5. pp. 297-307.

Ihara, I., Tomomatsu, T. 2011. In-situ measurement of internal temperature distribution of sintered materials using ultrasonic technique. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing.

IPT. 2004. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Laboratório de Higrotermia e Iluminação ACSC/DEC. Relatório de Ensaio N° 908 637.

Kitamura, K., Zhu, X., Chen, W., Nemoto, T. 2010. Development of a new method for the noninvasive measurement of deep body temperature without a heater. Medical Engineering & Physics, vol. 32, n. 1, p. 32.

Mulina, B. H. O. 2016. Proposta de metodologia numérica/experimental para determinação simultânea de propriedades térmicas e temperatura interna de equipamentos industriais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. MG. 132 f.

Scheeler, R. P. 2013. A Microwave Radiometer for Internal Body Temperature Measurement. Doctorate thesis. University of Colorado.

Souza, P.F.B.D. 2009. Estudos de processos térmicos decorrentes da usinagem: aplicação de problemas inversos em furação. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. MG. 172 f.

Vanderplaats, G. N. 1984. Numerical Optimization Techniques For Engineering Design. McGraww-Hill Inc.

Storn, R., Price, K.. 1997. Differential Evolution - a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. Journal of Global Optimization. Kluwer Academic Publishers. vol. 11. pp. 341 - 359.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

DETERMINATION OF INTERNAL TEMPERATURE, CONDUCTIVITY AND THERMAL DIFFUSIVITY OF SURFACES

Bruno Henrique Oliveira Mulina, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, brunomulina@gmail.com
Solidônio R. de Carvalho, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, srcarvalho@mecanica.ufu.br
Valério Luiz Borges, Lab. de Transferência de Calor e Massa - LTCM, vlborges@mecanica.ufu.br
Federal University of Uberlandia – UFU, Department of Mechanical Engineering - FEMEC 1M, Av. João Naves de Ávila, 2121, CEP 38408-100, Uberlandia, Minas Gerais, Brazil.

Abstract. *In industrial applications or in evaluating the thermal comfort of buildings it is necessary a method or experimental technique to determine in situ and, simultaneously, the thermal properties and the internal temperature of heated surfaces. In industry the temperature is the main parameter measured and is a great indication of equipment operating status. Thus, the study of variation of temperature over time allows to identify the need for maintenance of industrial equipment. However, the majority of industrial processes have no thermal sensors in its inner part. Therefore, it is common in the industry that operating conditions are set based on temperatures measured on the outside, for example, on the external surface of the machines. In buildings, a method capable of measuring in situ the average conductivity and thermal diffusivity of surfaces would help in the analysis and certification of thermal comfort. However, either on a surface of an industrial equipment or a wall of a building, the temperature depends strongly on the source of heat and convective and radiative effects arising from the environment, which can result in uncertainties in the measurement process. In order to achieve the goals this work presents a noninvasive numerical-experimental method that, from a one-dimensional transient thermal model and inverse problems in heat transfer, determines the internal temperature and estimates the thermal properties conductivity and thermal diffusivity. This paper presents the results for simulated experiments with metallic and non-metallic materials. Lastly, the technique is applied to determine the thermal properties and the internal temperature of laboratory experiments. The obtained results prove the potential and viability of the technique presented in this work.*

Keywords: *temperature, thermal properties, inverse problems, non-invasive methods*