



**TÉCNICA INVERSA DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM CONDUÇÃO DE CALOR  
APLICADA À SOLDAGEM DE PLÁSTICOS POR AR QUENTE**

**Cristiene Vasconcelos Gonçalves\***  
cgoncalves@mecanica.ufu.br

**Alberto Borges Vieira Junior \***  
abviera@mecanica.ufu.br

**Valério Luiz Borges \***  
vlborges@mecanica.ufu.br

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

**Gilmar Guimarães\***  
gguima@mecanica.ufu.br

\*Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica- Bloco 1M - Uberlândia- MG - 38400-902

**Resumo.** *Uma das grandes dificuldades de modelagem numérica de processos térmicos de soldagem é a determinação da potência térmica efetivamente fornecida às peças soldadas. O uso de técnicas de resolução de problemas inversos parece ser a opção mais viável para a determinação desta potência térmica. No entanto, não se dispõe de referências do uso desta técnica no estudo da soldagem de plásticos por ar quente ("hot air" ou "hot gas welding") na literatura aberta. Nestes casos, a qualidade das soldagens resultantes é altamente dependente do uso da temperatura adequada à soldagem de cada material termoplástico. Este trabalho apresenta um código computacional inverso para prever o desenvolvimento da zona termicamente afetada e os perfis de temperatura na peça de trabalho durante o processo de soldagem. O modelo de condução de calor bidimensional com fonte móvel é usado, onde as propriedades térmicas são consideradas constantes durante o processo. A soldagem em policarbonato ao invés de materiais metálicos fornece ainda vantagens adicionais tais como a possibilidade de se medir tensões residuais com fotoelasticidade e o uso de faixas de temperaturas inferiores. O fato de não ocorrer fusão no cordão de solda, aproxima o modelo de Rosenthal, usado no problema, à situação real. A obtenção da distribuição de temperatura e da potência térmica fornecida à placa obtidas através do código inverso concordam com os resultados obtidos experimentalmente.*

**Palavras-chave:** *problemas inversos, simulatade annealing, soldagem por ar quente*

## **1. INTRODUÇÃO**

A soldagem de plásticos por ar quente ("hot air" ou "hot gas welding") é bastante usada na soldagem de peças de maiores dimensões, casos de reparos ou em campo. Juntamente com a soldagem por extrusão, o processo por ar quente também pode ser usado no estudo das tensões residuais produzidas pela soldagem de outros materiais. Isto se deve a semelhanças com processos

de arco voltaico como, por exemplo, o processo TIG. Um dos materiais que podem ser soldados por ar quente é o policarbonato (PC), um material adequado ao uso em fotoelasticidade bidimensional e que permite o estudo das tensões residuais.

Sabe-se que na soldagem de polímeros termoplásticos, bons resultados são obtidos somente em uma faixa estreita de temperatura. Este tipo de soldagem se processa pela interpenetração das cadeias poliméricas, o que se dá pelo efeito combinado de pressão e temperatura. Baixas temperaturas podem ser insuficientes para que a soldagem ocorra. Por outro lado, temperaturas excessivas provocam a decomposição do material. No entanto, não se dispõe na literatura, de dados sobre a potência térmica efetivamente transferida à placa (calor efetivo) e sobre o ciclo térmico experimentado pelo material durante a soldagem por ar quente. Assim, o uso de técnicas de problemas inversos se apresenta como uma boa alternativa para a determinação desse fluxo.

Propõe-se, neste trabalho uma análise térmica do processo de soldagem por ar quente usando-se técnicas de problemas inversos. Nesse caso, identifica-se a distribuição de temperatura e o fluxo de calor gasto na peça de policarbonato a partir da medição de temperatura na face oposta ao jato de ar quente.

Estudos que tratam de técnicas inversas para análises de processos de soldagem são bastante limitados. A maioria tem seu objetivo voltado a problemas unidimensionais e materiais metálicos tais como AISI 304. Como exemplo pode se verificar na literatura problemas de fusão unidimensional (Katz and Rubinsky, 1984), problemas de soldagem de arco estacionário bidimensional (Hsu et al., 1986), problemas de soldagem bidimensional não linear considerando a mudança de fase e fonte móvel (Al-Kalidy, 1997).

Nesse trabalho fez-se o uso do algoritmo Simulated Annealing (SA) como ferramenta para a solução do problema inverso bidimensional com fonte móvel. O SA é um método de busca probabilística cuja maior desvantagem se deve a um tempo computacional maior quando comparado aos modelos convencionais. Entretanto, apresenta vantagem sobre os métodos de gradiente por selecionar valores dos parâmetros fora da vizinhança de um mínimo local. Apresenta-se também uma simulação numérica para validação do código.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Soldagem por Ar Quente

A soldagem de plásticos por ar quente ("hot air" ou "hot gas welding") apresenta algumas semelhanças em relação aos processos de soldagem de materiais metálicos em que a solda é obtida com a fusão de uma vareta de material de adição dentro de uma junta (AWS, 1991). No caso da soldagem por ar quente, usa-se, como fonte de calor, um jato de ar aquecido por resistência elétrica, em um aparelho semelhante a um secador de cabelo (Fig. 1). Pode-se usar a alimentação manual do material de adição, o qual, neste caso, também é pressionado manualmente contra as faces da junta. Outra opção é o uso de um bocal especial (bocal de solda rápida) que permite a passagem, aquecimento e pressão do material contra as faces da junta.

Diferente do que ocorre na soldagem de materiais metálicos, na soldagem de plásticos a vareta de material de adição não chega a se fundir completamente. O que ocorre é a interpenetração das cadeias poliméricas da vareta e da junta da placa de base, por efeito de temperatura e pressão, produzindo a soldagem (a necessidade de pressão é outra diferença entre a soldagem por ar quente e processos que usam arco voltaico).

Na soldagem de materiais poliméricos, o uso da temperatura adequada é de grande importância. Temperaturas excessivas podem provocar a decomposição do material. Além da temperatura de fusão ( $T_f$ ), os polímeros apresentam uma outra temperatura de referência importante, que é a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), onde ocorre, dentre outras alterações, a mudança de estrutura, de amorfa para cristalina. No caso do PC essas temperaturas são  $T_f = 267^\circ\text{C}$  e  $T_g = 145^\circ\text{C}$  (Nielsen e Landel, 1994). Gumbleton (1989) indica em  $350^\circ\text{C}$ , aproximadamente, a temperatura do ar que sai do aparelho para soldagem de policarbonato.

Há que se destacar a importância, em termos de pesquisa, da simulação de soldagem que se obtém com a simples passagem de calor por uma placa inteira de plástico. Como a faixa de variação possível para as combinações entre temperatura, velocidade de soldagem e pressão pode ser bastante estreita, muitas vezes não se consegue, na prática a soldagem por ar quente dentro de uma determinada condição especificada em um procedimento experimental. Recorre-se, então, à simulação da soldagem usando o "simples passe de calor", semelhante à soldagem "bead on plate" sem deposição de material de adição de materiais metálicos. Com este procedimento consegue-se trabalhar dentro de uma faixa mais ampla de variação dos parâmetros envolvidos (temperatura, velocidade de soldagem).

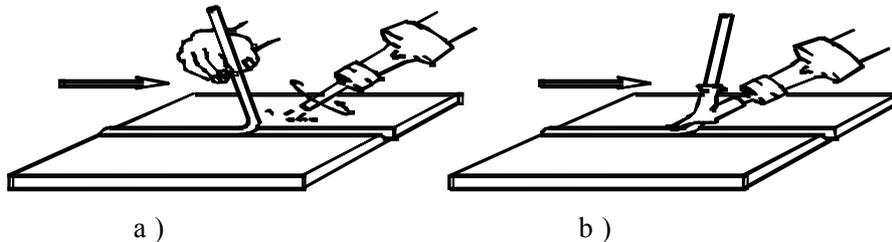


Figura 1. Soldagem por ar quente: a) com alimentação manual do material de adição b) com uso de bocal especial para soldagem rápida

## 2.2. Problema Direto: Formulação Analítica para a Distribuição de Temperatura

Soluções para as equações de transferência de calor de uma fonte pontual móvel de calor foram dadas por Rosenthal, 1935. Ele considerou que a energia da fonte de calor móvel com uma velocidade  $v$ , constante ao longo do eixo  $x$  e um sistema fixo de coordenadas retangulares. O fluxo de calor,  $q$ , é usualmente definido em termos da corrente de solda,  $I$ , e voltagem,  $V$ , e a eficiência do arco,  $\eta$ , Eq. (1).

$$q = \eta \cdot V \cdot I \quad (1)$$

Na literatura é relatado que os valores típicos para o rendimento do processo TIG variam em torno de 22 a 48%, Easterling, K (1983). A baixa eficiência desse processo está associada com as perdas de calor através do eletrodo.

A equação diferencial do escoamento de calor expressa em coordenadas dadas pela Fig.(2) é:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

onde  $T$  é a temperatura,  $t$  é o tempo e  $k$ , a condutividade térmica.

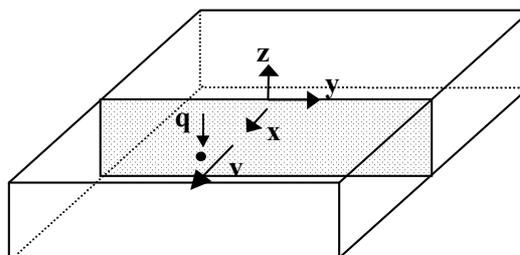


Figura 2. Configuração da soldagem em termos da fonte de calor,  $q$ , e uma velocidade constante,  $v$ .

É importante observar as considerações feitas por Rosenthal na solução da Eq. (2) e como elas afetam certas aplicações da teoria. As mais importantes considerações foram:

1. Uma fonte móvel pontual ou linear representa o arco de solda.
2. Propriedades dos materiais não são afetadas pelas mudanças de temperatura ou de estado (sólido ou líquido), ou seja, a condutividade e difusividade térmica, o calor específico e a densidade do metal de base são considerados constantes.
3. Perdas de calor na superfície da placa são negligenciadas.
4. A variação de calor latente devido às mudanças de fases é negligenciada.

A Equação (2) refere-se essencialmente a um sistema de coordenadas fixas, e pode ser modificado para um sistema de coordenadas móveis através da substituição de  $x$  por  $\xi$ , onde  $\xi$  é a distância da fonte de calor pontual atrás de alguma posição fixa ao longo do eixo  $x$ , dependente da velocidade da fonte móvel, dado pela Eq. (3):

$$\xi = x - vt \quad (3)$$

Substituindo a Eq. (3) na Eq. (2), obtém-se:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \xi} \quad (4)$$

A Eq. (4) pode ser simplificada para a distribuição de temperatura do estado quasi-estacionário. Experimentos têm mostrado que, se o sólido é longo o suficiente comparado ao comprimento de penetração da solda, a distribuição de temperatura em volta da fonte de calor torna-se momentaneamente independente do tempo. Isso significa que para um observador localizado na origem em movimento do sistema de coordenadas  $\xi, y, z$  deixa de perceber alguma mudança de temperatura a sua volta. Matematicamente o estado quasi-estacionário pode ser definido como  $\partial \mathbf{T} / \partial t = \mathbf{0}$ . E assumindo-se que a espessura da placa é muito menor que o comprimento e a largura, então a variação de temperatura na direção  $z$  pode ser desprezada. Desde que essas considerações são encontrada na maioria das situações de soldagem, a Eq.(4) pode ser simplificada para gerar a Eq. (5):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = -\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \xi} \quad (5)$$

A Eq.(5) pode ser resolvida usando o método de separação de variáveis assumindo a forma:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_0 + \exp(-\mathbf{C} \cdot \mathbf{x}) \cdot \mathbf{g}(\mathbf{x}, y) \quad (6)$$

Onde  $\mathbf{T}_0$  é a temperatura inicial da placa e  $\mathbf{C}$  é uma constante arbitrária. A solução apresentada na literatura (Schneider,1955) é dada por:

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_0 + \frac{\mathbf{q}}{2 \cdot \pi \cdot \mathbf{k} \cdot \mathbf{d}} \exp\left(-\frac{\mathbf{v} \cdot \xi}{2 \cdot \alpha}\right) \cdot \mathbf{K}_0\left(\frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{r}}{2 \cdot \alpha}\right) \quad (7)$$

Onde  $\alpha$  é a difusividade térmica, dada por  $\alpha = \mathbf{k} / \rho \cdot \mathbf{C}_p$ ,  $\mathbf{K}_0$  é a Função de Bessel Modificada do primeiro tipo, ordem zero,  $\mathbf{r} = (\xi^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$  e  $\rho \cdot \mathbf{C}_p$  é a capacidade de calor volumétrica.

## 2.2. Problema Inverso de Transferência de Calor: Simulated Annealing

O cálculo do fluxo de calor na peça foi feito através do uso de um método Inverso de Condução de Calor. A técnica usa dados de temperatura obtidos experimentalmente na peça para calcular o

fluxo de calor de entrada correspondente para um dados conjunto de parâmetros de soldagem. Várias técnicas básicas podem ser encontradas em Beck et al., 1985.

Baseado nos bons resultados obtidos em trabalhos anteriores, (Gonçalves, C. V. et al., 2000), optou-se pelo uso do algoritmo Simulated Annealing. Neste caso propõe-se a obtenção das componentes do fluxo de calor  $\mathbf{q}$  através da minimização de uma função erro quadrático definida pelo quadrado da diferença entre as temperaturas medidas na face oposta ao jato de ar quente,  $\mathbf{Y}$ , e as temperaturas calculadas pelo modelo teórico dado pela Eq. (7). Assim, a função objetivo a ser minimizada, adotada neste trabalho para os dois métodos empregados consiste:

$$\mathbf{F} = \sum_{i=1}^M (\mathbf{Y}_i - \mathbf{T}_i)^2 \quad (8)$$

SA tem suas origens na termodinâmica mais precisamente na forma como os metais líquidos se resfriam e se recozem. No recozimento físico, um metal é aquecido e em seguida resfriado lentamente para obter-se uma configuração molecular regular tendo o estado energético mais baixo possível. O *Simulated annealing* pode ser realizado em otimização através de uma perturbação aleatória na variável de decisão e mantendo-se o melhor valor da função objetivo para cada conjunto de variáveis aleatória. Para encorajar a formação dessas estruturas cristalinas, um programa de temperaturas é usado para governar a taxa para qual o metal resfria, (Nakao, S e Karasaki, J. N., 1999). Se a temperatura é mantida constante, o sistema se aproxima do equilíbrio térmico e a distribuição de probabilidade para a configuração de energia,  $E$ , aproxima-se da probabilidade de Boltzmann:

$$\mathbf{P}(\Delta E) = e^{\left(\frac{-E}{K_b T}\right)} \quad (9)$$

onde  $K_b$  é a constante de Boltzmann. Um critério conhecido como algoritmo de Metropolis, é aplicado para determinar se uma transição a outra configuração ocorre com a temperatura presente. Esse método de otimização consiste no uso de analogias ao processo de recozimento da metalurgia. Uma analogia ao processo pode ser visto na Figura 2, (Saramago et al., 1999).

No SA, o estado energético e a configuração molecular tem analogias exatas. A função objetivo, Eq. (8), é análoga à função de estado, e o conjunto de parâmetros independentes, configuração, é análogo ao arranjos moleculares. Temperatura é simplesmente um parâmetro de controle em um dado problema de otimização.

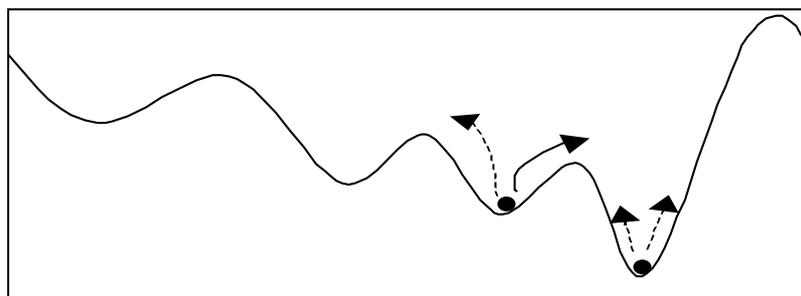


Figura 3 – Analogia ao processo de recozimento.

### 2.3. Rendimento Térmico

O rendimento térmico,  $\eta$ , é calculado como sendo a relação entre o calor efetivo,  $\mathbf{q}$ , (absorvido pela placa) e a potência do aparelho de ar quente,  $\mathbf{P}_{aq}$ , no ajuste usado nos ensaios, como pode ser visto na Eq.(10):

$$\eta = \frac{q}{P_{aq}} \cdot 100 \% \quad (10)$$

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Montagem experimental

A fim de se obter os dados de temperatura necessários para a solução do problema inverso, 10 termopares tipo K ( Chromel-Alumel ) foram fixados ( Guimarães&Lima e Silva, 2000) na superfície inferior de placa de policarbonato com dimensões de 0,295 x 0,20 m<sup>2</sup> e espessura de 0,004 m. Para a aquisição de seus sinais usou-se o sistema de aquisição de dados HP Série 75000 B E1326B (Data acquisition/ Control Unit). A Fig. 4 apresenta o aparato usado no procedimento experimental.

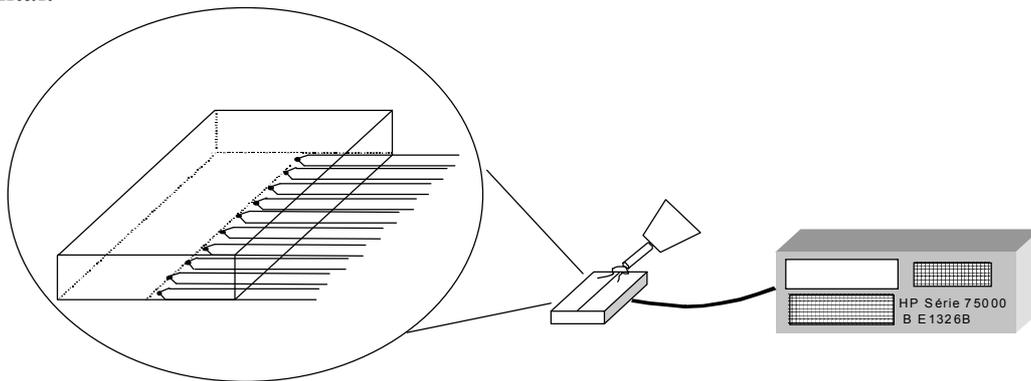


Figura 4 – Aparato experimental.

#### 3.2. Procedimento Experimental

Obteve-se 4096 dados de temperatura para cada termopar com um intervalo de tempo,  $\Delta t = 0.064$  segundos. Alguns parâmetros experimentais são fornecidos na Tab. 1.

Tabela 1. Resultados experimentais para as propriedades de flexão dos materiais

k, condutividade térmica (W/m°C)	0.2
$\alpha$ , difusividade térmica (m/s <sup>2</sup> )	1.33 e-7
T <sub>0</sub> , temperatura inicial (°C)	26
v, velocidade de soldagem (m/s)	0.0025
P <sub>aq</sub> , potência do aparelho (W).	640

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Resultados de Simulação

Antes da obtenção experimental do campo de temperatura e fluxo de calor na placa de policarbonato apresenta-se uma simulação numérica para a verificação do código computacional e comportamento físico do modelo. Para isso, as temperaturas experimentais são simuladas adicionando-se erros aleatórios. Esse procedimento tem também a função de testar a convergência do algoritmo.

Para a simulação experimental do algoritmo inverso impõe-se um fluxo de calor exato  $q = \text{constante} = 10 \text{ W}$ . Uma vez conhecido o fluxo de calor “imposto” o problema direto pode então ser resolvido através da Eq. (7). Obtendo-se então as chamadas temperaturas simuladas,  $Y$ , através

da adição de erros aleatórios,  $\varepsilon$ , que variam numa faixa de  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . Essa faixa de erro, na realidade foi superestimada para a verificação do teste de convergência. Observa-se que com equipamentos de precisão como o sistema de aquisição de dados usado pode se obter incertezas aleatórias na medição de temperatura na ordem de  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ .

$$\mathbf{Y} = \mathbf{T} + \varepsilon \quad (11)$$

Onde T é a temperatura fornecida pelo modelo, Eq. (7).

Assim, de posse das temperaturas simuladas  $\mathbf{Y}$ , o algoritmo inverso pode então ser testado, uma vez que a estimativa inicial desses algoritmos prevêem fluxos próximos a zero. Caso haja sucesso nas estimativas, as componentes de fluxo de calor estimadas devem convergir ao valor exato imposto, ou seja,  $\mathbf{q} = 10 \text{ W}$ .

O resultado da simulação é apresentado na Fig. 5. Onde percebe-se a boa convergência do algoritmo, que obteve erros relativos inferiores a 3.5 %. O desvio padrão obtido foi de 0.53942 .

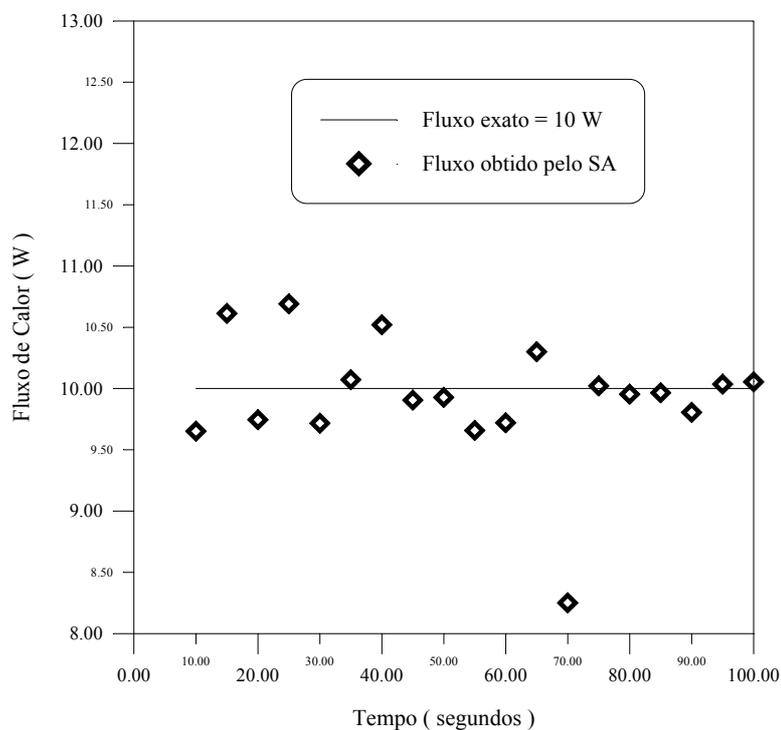


Figura 5 – Fluxo de calor imposto em função do tempo.

## 4.2. Resultados Experimentais

O modelo matemático foi usado com base na configuração da peça mostrado na Fig. 4. e os parâmetros de entrada podem ser visto na Tab.1. O fluxo de calor foi então calculado usando a técnica inversa mencionada anteriormente e usando os dados experimentais de temperatura mostrados na Fig.6

A Figura 7 apresenta o fluxo de calor obtido ao longo do tempo. Verifica-se que os perfis de temperatura mostrados na Fig. 8 são coerentes com o esperado, o que indica que o fluxo de calor obtido através do código inverso está próximo daquele que gera perfis de temperatura dentro da faixa de utilização do material que é aproximadamente  $150^{\circ}\text{C}$  ( temperatura de transição vítrea do Policarbonato). Entretanto há uma defasagem no tempo até atingir a regime do fluxo de calor. Uma das justificativas para isso pode ser o fato de que o modelo 2D considerado, pode não ser uma boa aproximação para a placa de policarbonato, devido a sua baixa condutividade térmica. Testes para o modelo 3D serão realizados futuramente a fim de avaliar a adequação de cada um dos modelos.

Com os valores de fluxo obtidos na Fig. 6 e a potência do aparelho,  $P_{aq}$  ( Tab. 1), calcula-se um rendimento térmico da ordem de 1.25 %. Esse valor é substancialmente inferior aos rendimentos térmicos típicos de processos de soldagem de materiais metálicos, que variam entre 40 e 90 %.

Observa-se que esse dado tem relativa importância devido a ausência de dados na literatura sobre rendimentos térmicos de materiais poliméricos em geral e especificamente em policarbonatos.

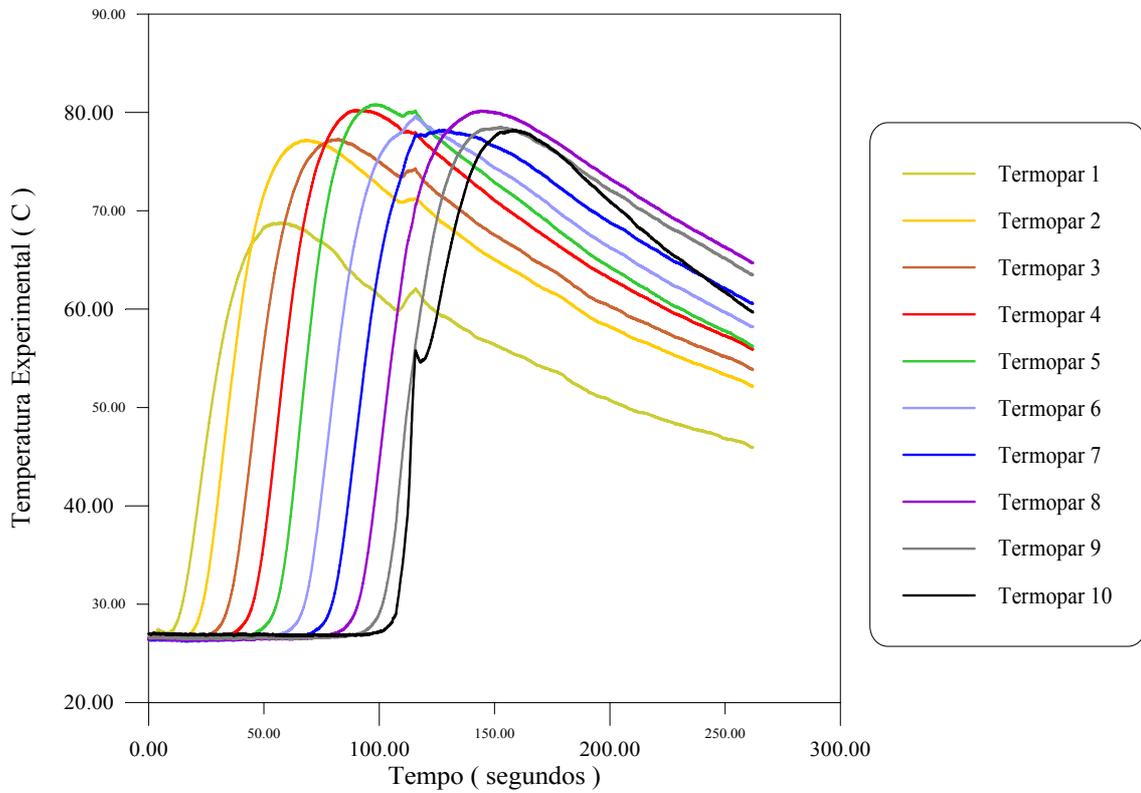


Figura 6 – Perfis de temperaturas experimentais ao longo do tempo para cada termopar

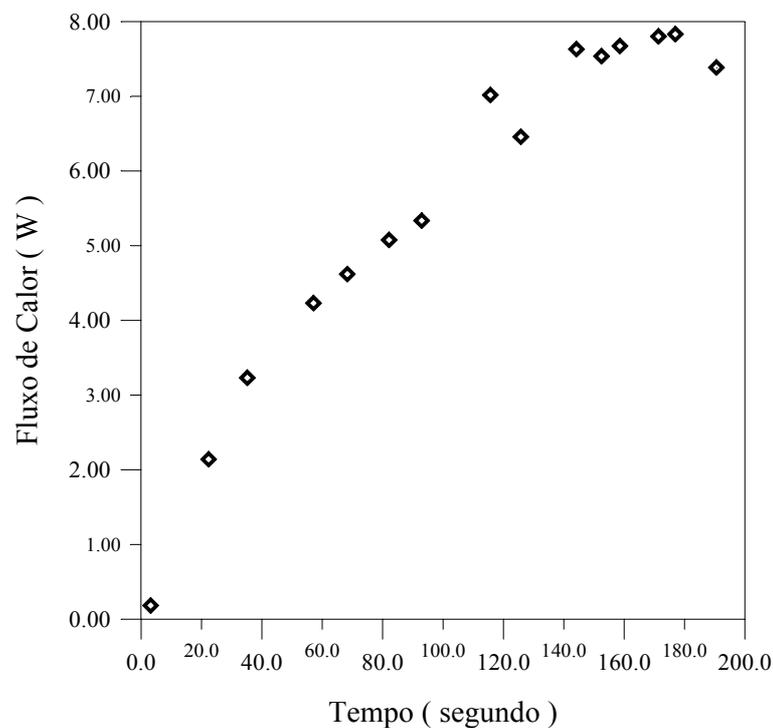


Figura 7 – Fluxo de calor imposto em função do tempo para os dados experimentais.

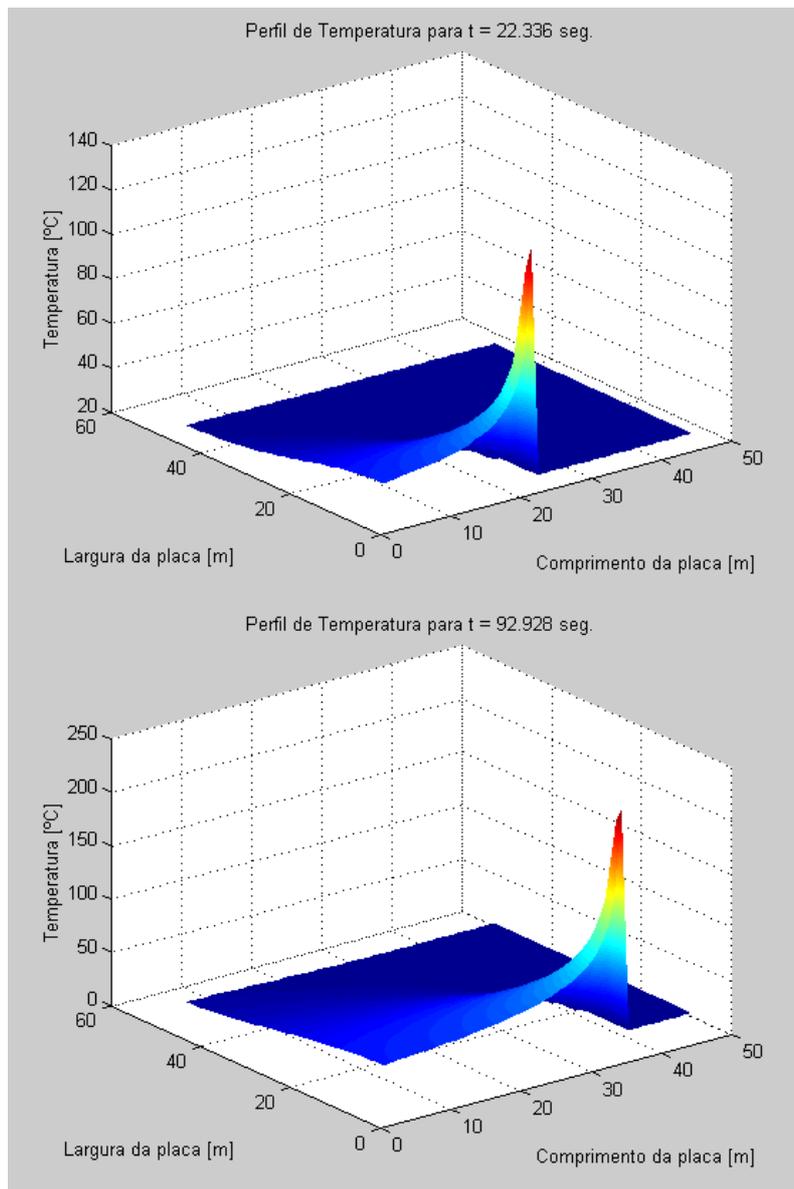


Figura 8 – Distribuição de temperatura obtida ao longo da placa para  $t = 22.336$  e  $92.928$  seg.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratórios de Transferência de Calor e Massa e Dinâmica dos Fluidos (LTCM) e de Desenvolvimento de Processos de Soldagem (Laprosolda), da UFU, pelo uso dos equipamentos necessários ao desenvolvimento do trabalho. Às agências CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresenta-se um estudo inicial das características térmicas da soldagem de plásticos por ar quente. O código inverso computacional usado na obtenção do fluxo de calor apresentou resultados coerentes com dados de temperatura simulados. Entretanto, os resultados obtidos através da dados experimentais para o fluxo de calor ao longo do tempo não forneceram um valor constante, como é usualmente admitida em problemas de soldagem. Deve-se considerar ainda a baixa condutividade do material polimérico e a espessura finita da placa que comprometem a hipótese de bidimensionalidade do modelo empregado. Como trabalho futuro propõe-se a implementação de um modelo tridimensional de condução de calor.

## 7. REFERÊNCIAS

- Al-Khalidy, Nehad, 1997, “ Application of optimization method for solving inverse phase-change problems ”, Numerical Heat Transfer, part B, pp.477 – 497.
- AWS, 1991, Welding Handbook, 8<sup>th</sup> ed., American welding Society, USA, Vol. 3, 526 p.
- Gonçalves, C. V., Saramago, S. P. e Guimarães, G., 2000, “Uso do Algoritmo Simulated Annealing no estudo de problemas inversos de convecção natural de calor”, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Natal, RN.
- Easterling, Kenneth, 1983, “Introduction to the Physical Metallurgy of Welding”, Butterworths&CoLtd. , London, UK.
- Guimarães, G. e Lima e Silva, S. M.M., 2000, "Apostila de Laboratório de Transferência de Calor I", Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerias, Brasil.
- Gumbleton, H., 1989, "Hot Gas Welding of Thermoplastics - An Introduction", Joining and Materials, UK, pp. 215-218.
- Hsu, Y. , Rubinsky, B., and Mahin, K., 1986, “ An Inverse Finite Element Method for the Analysis of Stationary Arc Welding Process, ASME J. Heat Transfer, Vol. 108, pp. 734-741.
- Katz, M. and Rubinsky, B., 1984, “ An Inverse Finite Technique to Determine the Change of Interface Location in One-Dimensional Melting Problem”, Numerical Heat Transfer, Vol. 7, pp. 269-283.
- Nakao, Shinsuke, Najita, Julie & Karasaki, Kenzi, 1999, “ Sensitivity study on hydraulic well testing inversion using *Simulated annealing*”, Ground Water Publishing Company, Vol. 37, Issue 5, pp. 736-747.
- Nielsen, L.E. e Landel, R.F., 1994, Mechanical Properties of Polymers and Composites, Marcel Dekker, USA, 557 p.
- Rosenthal, D., 1935, “Etude theorique du régime thermique pendant la soudure à la arc”, Congrès National des Sciences, Compters Rendus, Bruxelles, v. 2, p.1277.
- Saramago, S. F. P., Assis, E. G., & Steffen, Valder., 1999, “ *Simulated annealing*: Some applications in mechanical systems optimization”, 20<sup>th</sup> Iberian Latin – American Congress on Computational Methods in Engineering (CD – ROM), São Paulo, Brasil.

## INVERSE TECHNIQUE OF HEAT-CONDUCTION-PROBLEMS RESOLUTION, APPLIED TO HOT GAS WELDING OF PLASTICS

**Cristiene Vasconcelos Gonçalves\***  
cgoncalves@mecanica.ufu.br

**Alberto Borges Vieira Junior \***  
abviera@mecanica.ufu.br

**Valério Luiz Borges \***  
vlborges@mecanica.ufu.br

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

**Gilmar Guimarães\***  
gguima@mecanica.ufu.br

\*Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica- Bloco 1M - Uberlândia- MG - 38400-902

**Abstract.** *The application of heat-conduction inverse-problems assessment of the heat flux and thermal cycle on hot gas (or hot air) welding of plastics is proposed. Temperature time-history series were obtained, at several points, along the heat source travel line, by using thermocouples. The Rosenthal's classical is used as the model in this work. In an optimization process, one looks for finding the heat-flux value, at each time intervall. An objective function, which considers difference between measured and model-given temperatures at each measuring point is minimized. Polycarbonate (PC) plates were used at welding simulations. Those plates were subject to simple heat passes. Some theoretycal elements of the models and of the applied numerical programs are presented. It is also presented an analysis of the results. Based on the heat-flux analysis, it is possible to analyze the typical hot ar (or hot gas) welding conditions. Heat-fluxes were low, when computed to those related metallic welding.*

**keywords:** inverse-problem, simulated annealing, welding of plastics