



## **EFEITO DA PRESSÃO NO PROBLEMA DE LUIKOV**

### **Francisco Gêvane Muniz Cunha**

OMNI/MCC/DC/UFC e CEFET-CE. Rua 305, Casa 170, Conjunto São Cristóvão,  
CEP 60866-330, Fortaleza - Ce, Brasil, email - gevane@lia.ufc.br

### **Júlio Wilson Ribeiro**

OMNI/MCC/DC/UFC. Rua Paula Ney, 550, apto. 601, Aldeota,  
CEP 60140-120, Fortaleza - Ce, Brasil, email - juliow@uol.com.br

### **João Batista Furlan Duarte**

OMNI/MCC/DC/UFC e UNIFOR, email - furlan\_duarte@uol.com.br

### **Carlos Antônio Cabral dos Santos**

LES/CT/UFPb, email - cabral@les.ufpb.br

### **Francisco Marcondes**

DEM/UFC e OMNI/MCC/DC/UFC email - marconde@dem.ufc.br

***Resumo.** Apresentam-se os formalismos da técnica de transformada integral generalizada e sua metodologia sistemática, que são aplicados para solução de uma variante do problema de secagem de Luikov que inclui o efeito da pressão. O modelo matemático associado é descrito por um sistema de três equações acopladas, sendo sua solução implementada através da utilização de programação simbólica. As distribuições de temperatura, teor de umidade e pressão no meio capilar poroso são representadas por séries analíticas de expansão de autofunções. A partir de resultados benchmark obtidos, disponibilizam-se gráficos que expressam o comportamento do processo de secagem, apresentam-se em seguida comentários.*

***Palavras-chave:** transformada integral, secagem, computação simbólica, problemas acoplados, meios porosos.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A transferência não-isotérmica e simultânea de calor e massa em meios capilares porosos é de fundamental importância para o estudo de inúmeros processos. Neste cenário, o modelo proposto por Luikov contribui para a análise da secagem de alimentos, processamento industrial de produtos metalúrgicos, projeto de *chips* eletrônicos, materiais cerâmicos, farmacêuticos, etc. (Luikov, 1966; Luikov, 1975 e Luikov, 1980).

Desde seu aparecimento, a técnica de transformada integral e outras classes de métodos analíticos vêm se mostrando bastante competitivos (Mikhailov and Özisik, 1984 e Ozisik and Murray, 1974), permitindo a solução de um crescente número de problemas a priori não-transformáveis e não solucionáveis, citando-se a técnica da transformada integral clássica (Mikhailov and Özisik, 1984) e a técnica da transformada integral generalizada, GITT (Cotta, 1993; Cotta, 1998; Cotta and Mikhailov, 1997; Duarte and Ribeiro, 1997; Ribeiro et al, 1993 e Ribeiro and Cotta, 1995). Esta última apresenta características consideravelmente promissoras:

- Redução do tempo de processamento e metodologia sistemática.

- Não utilização de malhas (fator que se acentua em problemas multidimensionais).
- Controle prescrito de erro.
- Determinação numérica direta da função em um ponto (para valores definidos de tempo e espaço) sem necessidade de cálculo numérico de estados temporais anteriores ou de outros pontos do domínio espacial.
- Versatilidade do método em se hibridizar com outros, devido a suas características analítico-numéricas.

O método de transformada integral generalizada, associado ao uso de computação simbólica, possibilitam ao usuário construir e implementar algoritmos que automaticamente manipulam e disponibilizam importantes informações analíticas (Duarte, 1995 e Cotta and Mikhailov, 1997). Estes, executam o processamento sistemático de tarefas tediosas e muitas vezes repetitivas, associadas ao desenvolvimento de cálculos analíticos avançados, que tradicionalmente eram realizadas via exaustiva manipulação humana. Tais recursos de implementação são desenvolvidos incorporando-se o uso de técnicas de programação, como programação funcional e programação baseada em regras (Gray, 1998 e Wolfram, 1996).

## 2. DESENVOLVIMENTO

Apresentam-se inicialmente os formalismos do método da GITT. Posteriormente, os mesmos são aplicados para se obter a solução de uma variante do problema de Luikov com efeito da pressão (Lewis and Ferguson, 1990; Lewis et al, 1996 e Thomas et al, 1980).

Seja a classe de problemas difusivo-convectivos, representada por três equações diferenciais parciais acopladas, possuindo termos-fonte não-lineares, com contorno acoplado, segundo os potenciais  $\theta_k(x, t)$ ,  $k = 1, 2, 3$ , com  $x \in V \subset R^3$  e superfície de contorno  $S \subset R^2$ , expressa por:

$$w_k(x) \frac{\partial \theta_k(x, t)}{\partial t} + L_k \theta_k = P_k(x, t, \theta_1, \theta_2, \theta_3), \quad x \in V, \quad t > 0 \quad (1 \text{ a,b,c})$$

que possuem as seguintes condições iniciais,

$$\theta_k(x, 0) = f_k(x), \quad x \in V, \quad (2 \text{ a,b,c})$$

com as condições de contorno,

$$B_k \theta_k(x, t) = \bar{o}_k(x, t, \theta_1, \theta_2, \theta_3), \quad x \in S, \quad (3 \text{ a,b,c})$$

e os operadores generalizados expressos por,

$$L_k = -\nabla K_k(x) \nabla + d_k(x) \quad (4 \text{ a,b,c})$$

$$B_k = \tilde{a}_k(x) + \tilde{a}_k(x) K_k(x) \frac{\partial}{\partial n} \quad (5 \text{ a,b,c})$$

onde  $\gamma_k(x)$  e  $\delta_k(x)$  são coeficientes prescritos,  $n$  constitui o versor ortogonal à superfície de contorno,  $S$ , e aponta para o exterior. Os termos não-lineares  $P_k$  e  $\ddot{o}_k$  representam eventuais acoplamentos entre os potenciais.

Para solução do problema geral, expresso pelas Eqs. (1 a,b,c) a (5 a,b,c), o primeiro passo consiste em desmembrar este em problemas componentes, visando carregar não-homogeneidades e não-linearidades para problemas particulares, com soluções obteníveis através de menor esforço computacional e deixar o problema principal mais tratável analítico e numericamente. Este procedimento se denomina técnica de filtragem. Assim, sejam,  $\ddot{e}_{kh}(x,t)$  os problemas homogêneos e  $\ddot{e}_{ks}(x,t)$ , para  $k=1, 2, 3$ , os problemas particulares não-homogêneos, tal que:

$$\ddot{e}_k(x, t) = \ddot{e}_{ks}(x, t) + \ddot{e}_{kh}(x, t) \quad (6 \text{ a,b,c})$$

Para melhorar o comportamento da convergência da solução dos problemas homogêneos, o passo consecutivo é a escolha apropriada de problemas auxiliares associados, de forma a se obter séries de expansão de autofunções para cada potencial. No caso do problema de Luikov, se propõe a definição de problemas auxiliares desacoplados, o que genérica e definitivamente elimina a existência de alto valores complexos (Ribeiro et al 1993 and Cotta, 1998),

$$L_k \ddot{O}_{ki}(x) = \ddot{i}_{ki}^2 w_k(x) \ddot{O}_{ki}(x), \quad x \in V, \quad i = 1, 2, \dots \quad (7 \text{ a,b,c})$$

com as respectivas condições de contorno,

$$B_k \ddot{O}_{ki}(x) = 0, \quad x \in S, \quad i = 1, 2, \dots \quad (8 \text{ a,b,c})$$

Segundo os formalismos de GITT, as integrais de normalização assumem a seguinte formulação,

$$N_{ki} = \int_0^1 w_k(x) \ddot{O}_{ki}^2(x) dx, \quad i = 1, 2, \dots \quad (9 \text{ a,b,c})$$

Os autovalores,  $\mu_{ki}$ , autofunções,  $\Psi_{ki}$  e normas,  $N_{ki}$  são calculados numericamente e utilizados na obtenção dos seguintes pares de transformada integral, para  $k=1, 2, 3$ , assim definidos,

Inversas,

$$\Theta_k(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{N_{ki}^{1/2}} \Psi_{ki}(x) \bar{\Theta}_{ki}(t) \quad (10 \text{ a,b,c})$$

Transformadas,

$$\bar{\Theta}_{ki}(t) = \frac{1}{N_{ki}^{1/2}} \int_0^1 w_k(x) \Psi_{ki}(x) \Theta_k(x, t) dx \quad (11 \text{ a,b,c})$$

Normas,

$$N_{ki}(\mathbf{t}) = \int_0^1 w_k(x) [\Psi_{ki}(x)]^2 dx \quad (12 \text{ a,b,c})$$

Para fins de implementação numérica, truncam-se em uma ordem finita,  $N$ , as fórmulas de inversa, visando se obter de uma determinada precisão prescrita, podendo-se utilizar procedimentos adaptativos, para controle automático do erro. Sem perda de generalidade e empregando os formalismos da GITT, as formulações apresentadas permitem a obtenção de um problema de valor inicial, que possui a seguinte estrutura,

$$\frac{dY(\mathbf{t})}{dt} + A_{3N,3N} Y(\mathbf{t}) = 0_{3N,1} \quad (13)$$

onde,

$$Y(\mathbf{t}) = \{ \bar{\Theta}_{11}(\mathbf{t}) \dots \bar{\Theta}_{1N}(\mathbf{t}) \quad \bar{\Theta}_{21}(\mathbf{t}) \dots \bar{\Theta}_{2N}(\mathbf{t}) \quad \bar{\Theta}_{31}(\mathbf{t}) \dots \bar{\Theta}_{3N}(\mathbf{t}) \}^T \quad (14)$$

A condição inicial transformada necessária é analogamente obtida, aplicando-se os formalismos sobre a condição inicial do problema homogêneo, o que resulta,

$$Y(0) = \bar{F}(\mathbf{t}) \quad (15)$$

O problema de valor inicial pode ser resolvido numericamente através de análise de matrizes de autovalores ou subrotinas científicas, como disponíveis no IMSL (Manuais Microsoft, 1995) ou no *Mathematica* (Wolfram, 1996). Procedimentos adaptativos podem minimizar as ordens de truncamento necessárias para atingir determinada precisão prescrita. Calculados os valores dos potenciais transformados, o passo seguinte é utilizar as fórmulas de inversão e adicionar as soluções dos problemas particulares, obtendo-se assim os potenciais de seçados.

Com o advento da GITT, a partir do final da década de oitenta, foram publicados trabalhos mostrando soluções de variantes do problema de Luikov, desenvolvidas através de procedimentos sistemáticos (Mikhailov and Özisik, 1984; Ribeiro et al, 1993 e Ribeiro and Cotta, 1995), sendo observado que algumas soluções anteriormente apresentadas estavam incompletas (Liu and Cheng, 1991). Como aplicação da GITT, resolve-se um problema de secagem unidimensional, correspondente a uma variante do modelo de Luikov (Lewis and Ferguson, 1990 e Lewis et al, 1996), composto por três equações diferenciais parciais acopladas, originárias dos balanços de energia, massa e conservação da quantidade de movimento, no interior de um meio capilar poroso isotrópico. Para aplicação dos formalismos da GITT, as equações obtidas através dos balanços são rearranjadas e descritas a seguir,

Equações governantes,

$$C_q \frac{\partial T}{\partial t} = K_{11} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{12} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + K_{13} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (16 \text{ a})$$

$$C_m \frac{\partial U}{\partial t} = K_{21} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{22} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + K_{23} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (16 b)$$

$$C_p \frac{\partial P}{\partial t} = K_{31} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{32} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + K_{33} \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (16 c)$$

Condições iniciais,

$$T(x,0) = T_0, \quad U(x,0) = U_0, \quad P(x,0) = P_0 \quad (17 a,b,c)$$

Condições de contorno,

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (18 a,b,c)$$

$$T(L,t) = T_B, \quad U(L,t) = U_B, \quad P(L,t) = P_B \quad (19 a,b,c)$$

onde,  $T \equiv T(x,t)$  representa a distribuição de temperatura,  $U \equiv U(x,t)$ , distribuição de umidade e  $P \equiv P(x,t)$ , distribuição de pressão.  $L$  é o comprimento característico do meio poroso,  $x$  e  $t$  representam respectivamente as coordenadas espacial e temporal. As propriedades do *epoxy* são definidas da seguinte forma:  $\rho_0$  representa a densidade;  $c_q$ , capacidade térmica;  $c_m$ , capacidade mássica;  $c_p$ , capacidade de filtração mássica;  $\varepsilon$ , critério de mudança de fase;  $\lambda$ , calor latente de vaporização;  $\delta$ , coeficiente termogradiante;  $K_q$ , coeficiente de condutividade térmica;  $K_m$ , coeficiente de condutividade mássica e  $K_p$ , coeficiente de filtração mássica. Finalmente, os demais símbolos estão definidos em função dessas propriedades nas Eqs. (20 a,b,c).

$$\begin{bmatrix} C_q \\ C_m \\ C_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_q \tilde{n}_0 \tilde{a}' \\ \tilde{a} \tilde{\varepsilon} \tilde{n}_0 c_m \\ -\tilde{\varepsilon} \tilde{n}_0 c_p k_p \\ k_m \end{bmatrix} \quad (20 a)$$

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (k_q + \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_m) \tilde{a}' & \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_m & \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_p \\ \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_m & \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_m & \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_p \\ \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_p & \tilde{a} \tilde{\varepsilon} k_p & \frac{\tilde{\varepsilon} k_p^2 (\tilde{a} - 1)}{k_m} \end{bmatrix} \quad (20 b)$$

$$\ddot{a} = \frac{\ddot{a}'}{c_m} \quad (20 \text{ c})$$

O problema formulado pelas Eqs. (16 a,b,c) a (19 a,b,c) não é homogêneo no contorno, o que requer o uso de funções filtro, conforme discutido anteriormente, visando-se acelerar a convergência numérica principalmente nas proximidades do contorno  $x = L$ . Em seguida, os formalismos da GITT apresentados nas Eqs. (1 a,b,c) a (15) são aplicados ao problema de Luikov, gerando os resultados discutidos a seguir.

### 3. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

A variante do modelo de Luikov para secagem com efeito da pressão foi implementada através de notebooks no Mathematica (Wolfram, 1996), utilizando-se um microcomputador Pentium II de 300 MHz e 128 MB de memória RAM. As séries de expansão de autofunções foram truncadas para  $N=10$ , conseguindo-se 5 dígitos significativos convergidos, o que caracteriza uma excelente taxa de convergência. Atribuíram-se os seguintes valores de propriedades termofísicas, para uma cápsula de *epoxy* (Lewis, 1990), utilizada na proteção de *chips* eletrônicos:  $\rho_0 = 1170,0 \text{ Kg.m}^{-3}$ ,  $c_q = 1.400,0 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{°K}^{-1}$ ,  $c_m = 0,03 \text{ Kg.Kg}^{-1}.\text{°M}^{-1}$ ,  $c_p = 0,05 \text{ Kg.Kg}^{-1}.\text{Pa}$ ,  $e = 0,3$ ,  $\lambda = 2,3.10^6 \text{ J.Kg}^{-1}$ ,  $\Delta = 0,67 \text{ °M.°K}^{-1}$ ,  $K_q = 576,0 \text{ J.h}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{°K}^{-1}$ ,  $K_m = 3,0.10^6 \text{ Kg.h}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{°M}^{-1}$ ,  $K_p = 1,5.10^6 \text{ Kg.h}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$ . O comprimento característico escolhido é  $L = 0,01 \text{ m}$ . Os valores adotados para as condições iniciais são  $T_0 = 30,0 \text{ °C}$ ,  $U_0 = 13,5 \text{ °M}$  e  $P_0 = 0,00 \text{ Pa}$ . As condições de contorno assumem os seguintes valores em  $x = 0,0 \text{ m}$ :  $\partial T(x,t) / \partial t = 0$ ,  $\partial U(x,t) / \partial t = 0$ ,  $\partial P(x,t) / \partial t = 0$  e em  $x = 0,01 \text{ m}$ :  $T(x,t) = 80,0 \text{ °C}$ ,  $U(x,t) = 28,5 \text{ °M}$  e  $P(x,t) = 100 \text{ Pa}$ .

Para visualização do comportamento do processo de secagem, as curvas de distribuição de temperatura,  $T$ , umidade,  $M$ , e pressão,  $P$ , são obtidas a partir de valores convergidos dos potenciais e representadas, respectivamente, pelas Figs. (1) a (3), mostradas a seguir. Conforme esperado, o *epoxy* possui uma baixa inércia térmica, atingindo, após 0,30 h e nas camadas mais internas, temperaturas próximas ao valor de equilíbrio, o que pode ser observado na Fig. (1). Na Fig. (2), conforme esperado, são necessárias cerca de 4000 h para o meio poroso atingir valores de teor de umidade próximos à umidade de equilíbrio, o que caracteriza uma alta inércia mássica. Ainda na Fig. (2), devido ao intenso efeito termogradiante (Luikov, 1966; Luikov, 1980 e Ribeiro and Cotta, 1995) ocorrido no início do processo de secagem (o que pode ser inferido da Fig. (1), para  $t < 0,02 \text{ h}$ ), se pode observar quando  $t = 80 \text{ h}$  e próximo à superfície a penetração de uma frente de umidade, que se desloca das camadas mais próximas à superfície para as mais internas. Este efeito prossegue, transferindo parte da umidade para as camadas mais internas, o que pode ser observado na mesma figura, para tempos mais longos. Posteriormente, prevalece o efeito da secagem, quando esta ocorre em todo o domínio do meio poroso e se aproxima do valor de equilíbrio ( $t > 4000 \text{ h}$ ). A Fig. (3) exhibe o efeito da pressão, que provoca uma componente de transferência de massa por filtração, adicional à transferência de massa por difusão. O efeito da pressão negativa nas camadas mais internas (na figura, quando  $t = 400 \text{ h}$ ), também é citado em (Lewis, 1991). Observa-se no efeito filtração que a pressão no meio poroso possui alta inércia pneumática, atingindo valores próximos ao equilíbrio (para  $t > 4000 \text{ h}$ ).

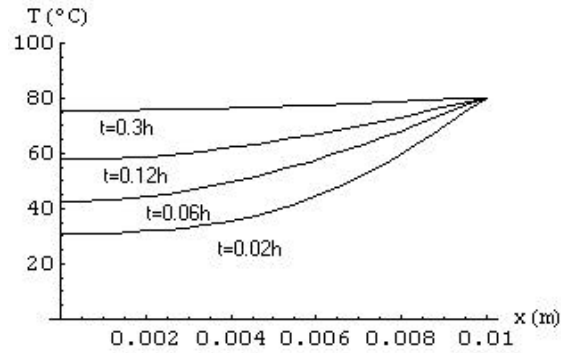


Figura 1. Distribuição dos perfis de temperatura,  $T$ , obtidos para a variante do problema de Luikov com efeito da pressão.

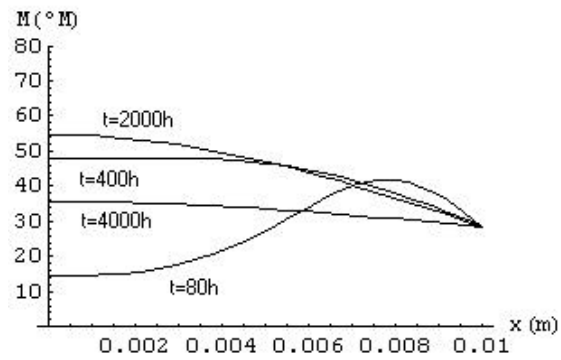


Figura 2. Distribuição dos perfis de umidade,  $M$ , obtidos para a variante do problema de Luikov com efeito da pressão.

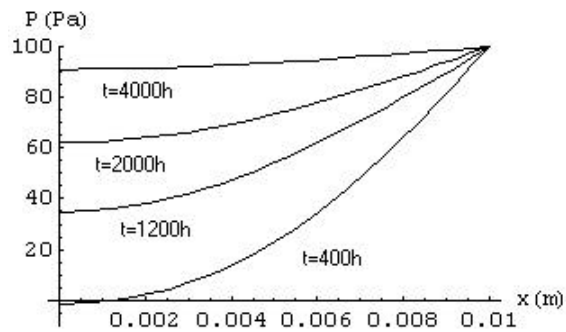


Figura 3. Distribuição dos perfis de pressão,  $P$ , obtidos para a variante do problema de Luikov com efeito da pressão.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso combinado do método de transformada integral generalizada e da computação simbólica permitiram a implementação de um algoritmo que disponibiliza a manipulação analítica e sistemática dos formalismos da GITT, segundo o problema de Luikov abordado. Os gráficos apresentados mostram o comportamento transiente do *epoxy*, que exibe baixa inércia térmica e alta inércia mássica, o que é desejado em camadas protetoras de *chips* eletrônicos. Como continuidade da linha de pesquisa, propõe-se a solução das variantes 2D e 3D do problema enfocado, o que se tornará bastante atrativo quando comparado a dificuldades de implementação advindas do uso de métodos puramente numéricos, já que na metodologia utilizada, os potenciais desejados sempre são expressos por séries de expansões de autofunções.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNCAP e ao CNPq, pelo financiamento de suas pesquisas e bolsas, e às suas respectivas Instituições.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Cotta, R.M., 1993, "Integral Transform in Computational Heat and Fluid Flow", Ed. CRC Press, Boca Raton, USA, 340 p.
- Cotta, R.M and Mikhailov, M. D., 1997, "Heat Conduction - Lumped Analysis, Integral Transforms, Symbolic Computation", Ed. John Wiley & Sons, New York, USA, 352 p.
- Cotta, R.M., 1998, "The Integral Transform Method in Thermal and Fluid Science and Engineering", Ed. Begell House, New York, USA, 430 p.
- Duarte, J.B.F., 1995, "Solução Numérica da Difusão de Calor e Massa em Meios Bidimensionais Capilares Porosos", Dissertação de Mestrado em Física - UFC, Fortaleza, Brazil, 151 p.
- Duarte, J.B.F. and Ribeiro, J.W., 1997. "Integral Transform Solution of Three-Dimensional Luikov Problem", Proc. of Eurotherm53-Advanced Modelling, Mons, Belgium, pp. 167-174.
- Gray, J. W., 1998, "Mastering Mathematica – Programming Methods and Applications", Ed. Academic Press, San Diego, USA, 629 p.
- Lewis, R. W. and Ferguson, W. J., 1990, "The Effect of Temperature and Total Gas Pressure on the Moisture Content in a Capillary Porous Body", Int. J. for Meth. in Engineering, Vol.29, pp. 357-369.
- Lewis, R.W., Morgan, K., Thomas, H.R and Seetharamu, K.N., 1996, "The Finite Element Method in Heat Transfer Analysis", Ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 279 p.
- Liu, J.Y. and Cheng, S., 1991, "Solutions on Luikov Equation of Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies", Int. J. Heat & Mass Transfer, Vol. 37, n.7, pp.1747-1754.
- Luikov, A.V., 1966, "Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies", Ed. Pergamom Press, Oxford, UK, 523 p.
- Luikov, A.V., 1975, "System of Differential Equations of Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies (Review)", Int. J. Heat & Mass Transfer, Vol. 18, pp. 1- 44.
- Luikov, A.V., 1980, "Heat and Mass Transfer", Ed. Mir Publishers, Moscow, USSR, 623 p.
- Mikhailov, M. D. and Özisik, M. N., 1984, "Unified Analysis and Solutions of Heat and Mass Diffusion", Ed. Wiley-Interscience & Sons, New York, USA, 524 p.



- Özisik, M.N. and Murray, R.L., 1974, "On the Solution of Linear Diffusion Problems with Variable Boundary Conditions", J. Heat Transfer, Vol. 96, pp. 48-51.
- Ribeiro, J.W., Cotta, R.M. and Mikhailov, M.D., 1993, "Integral Transform Solution of Luikov's Equations for Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Media", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 36, pp. 4467-4475.
- Ribeiro, J.W. and Cotta, R.M., 1995, "On the Solution of Non-Linear Drying Problems in Capillary Porous Media Through Integral Transformation of Luikov Equations", Int. J. Num. Meth. in Eng., Vol. 38, pp. 1001-1020.
- Thomas, H. R., Morgan, K. and Lewis, R.W., 1980, "A Fully Nonlinear Analysis of Heat and Mass Transfer Problems", Int. J. Num. Meth in Engineering. Vol. 15, pp. 1381-1393.
- Wolfram, S., 1996, "The Mathematica Book", Ed. Wolfram Media/Cambridge University Press, Champaign, USA, 1403 p.
- 1995, "Manuais Microsoft - Fortran Power Station, Programmer's Guide", 752 p.

## **THE EFFECT OF PRESSURE ON THE LUIKOV PROBLEM**

### **Francisco Gêvane Muniz Cunha**

OMNI/MCC/DC/UFC e CEFET-CE. Rua 305, Casa 170, Conjunto São Cristóvão,  
CEP 60866-330, Fortaleza-Ce, Brasil, email - [gevane@lia.ufc.br](mailto:gevane@lia.ufc.br)

### **Júlio Wilson Ribeiro**

OMNI/MCC/DC/UFC. Rua Paula Ney, 550, apto. 601, Aldeota,  
CEP 60140-120, Fortaleza -Ce, Brasil, email - [juliow@uol.com.br](mailto:juliow@uol.com.br)

### **João Batista Furlan Duarte**

OMNI/MCC/DC/UFC e UNIFOR, email - [furlan\\_duarte@uol.com.br](mailto:furlan_duarte@uol.com.br)

### **Carlos Antônio Cabral dos Santos**

LES/CT/UFPb, email - [cabral@les.ufpb.br](mailto:cabral@les.ufpb.br)

### **Francisco Marcondes**

OMNI/MCC/DC/UFC e DEM/UFC, email – [marcondes@dem.ufc.br](mailto:marcondes@dem.ufc.br)

**Abstract.** *The formalisms and systematic methodology of the generalized integral transform method are presented and applied to solve a Luikov drying problem model that include the pressure effect. The associate mathematical model is expressed by a system of three coupled equations and the solution is implemented using symbolic programming. The temperature, moisture content and pressure distributions in the capillary porous medium are expressed by analytical eigenfunction series. Graphics obtained using benchmark results are presented and express the behavior of the drying process, followed by comments.*

**Keywords:** *integral transforms, drying, symbolic computation, coupled problems, porous media.*