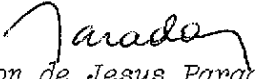


1. Publicação nº <i>INPE-2527-PRE/196</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1982</i>	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem <i>DEN/DCP</i>	Programa <i>SIPROS</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA</i>			
7. C.D.U.: <i>536.27</i>			
8. Título <i>COEFICIENTES DE TRANSPORTE PARA UM TROCADOR DE CALOR E MASSA COMPACTO</i>		10. Páginas: <i>24</i>	
		11. Última página: <i>23</i>	
9. Autoria <i>F.E.M. Saboya E.A.G. Pereira</i>		12. Revisada por <i>Libório Faria</i> <i>Libório José Faria</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
14. Resumo/Notas <i>O duto estudado era composto por duas laterais arco-cilíndricas convexas isotérmicas de mesmo raio e por uma base plana adiabática. Obtiveram-se os coeficientes de transporte de calor para convecção forçada em regime laminar deste canal. Para tanto, optou-se pelo uso do método da analogia de transferência de calor e massa. A técnica recorrida foi a de sublimação de naftaleno, cuja utilização exigiu instrumentos de precisão e condições ambientais controladas.</i>			
15. Observações <i>Este trabalho será apresentado no 1º Congresso Latino Americano de Transferência de Calor e Massa, La Plata, Argentina, de 31 de Outubro a 04 de Novembro de 1982.</i>			

COEFICIENTES DE TRANSPORTE PARA UM TROCADOR DE CALOR E MASSA COMPACTO

F.E.M. Saboya - Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro
Av. Marquês de São Vicente 225 - Rio de Janeiro-RJ
E.A.G. Pereira - Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
CP 515 - 12200 - São José dos Campos - SP

RESUMO

O duto estudado era composto por duas laterais arco-cilíndricas convexas isotérmicas de mesmo raio e por uma base plana adiabática. Obtiveram-se os coeficientes de transporte de calor para convecção forçada em regime laminar deste canal. Para tanto, optou-se pelo uso do método da analogia de transferência de calor e massa. A técnica recorrida foi a de sublimação de naftaleno, cuja utilização exigiu instrumentos de precisão e condições ambientais controladas.

1.

INTRODUÇÃO

A necessidade da construção de equipamentos cada dia mais compactos leva ao estudo de novas geometrias, cujas características pertinentes à troca de calor e massa nem sempre são conhecidas. Os dutos não-circulares, por exemplo, estão sendo usados constantemente nos diver

tos campos da engenharia.

O presente trabalho tem por finalidade a análise da convecção forçada, em regime laminar, em um duto formado de uma base plana, considerada adiabática, e duas laterais arco cilíndricas convexas de mesmo raio, consideradas isotérmicas (Figura 1).

Devido à dificuldade da manutenção de paredes isotérmicas para obtenção dos coeficientes de transporte foi utilizada a analogia entre a transferência de calor e a transferência de massa. A técnica usada foi a de sublimação do naftaleno. Assim tem-se correspondência entre concentração de vapor e temperatura. O naftaleno possui concentração de vapor constante ao longo de sua superfície de transferência.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

De acordo com a analogia entre transferência de calor e massa, utilizou-se a equação proposta por Stephan (1959) para descrever o comportamento do número de Sherwood médio, $\overline{Sh}_L$, e do número de Nusselt médio, $\overline{Nu}_L$. As equações têm a seguinte forma geral:

$$\overline{Sh}_L = \overline{Sh}_{LD} + \frac{1}{C_1 (x^+)^{n_1} + C_2 (x^+)^{n_2}} \quad (1)$$

$$\overline{Nu} = \overline{Nu}_{LD} + \frac{1}{C'_1 (x^+)^{n_1} + C_2 (x^+)^{n_2}}$$

onde:

$\overline{Sh}_{LD}$ - Número de Sherwood médio para escoamento completamente estabelecido.

$\overline{Nu}_{LD}$ - Número de Nusselt médio para escoamento completamente estabelecido.

x^+ - Comprimento adimensional definido como o inverso do número de Graetz.

C_1 - Função do número de Schmidt.

C_1' - Função do número de Prandtl.

As laterais do duto estudado foram construídas por placas de naftaleno de geometria adequada. A base plana foi confeccionada em alumínio, matéria inerte quanto à sublimação.

A passagem de ar pelo interior do duto faz com que parte do naftaleno sublime após certo tempo. A variação da massa das laterais permite a estimativa dos coeficientes médios de transporte de massa. Assim, uma vez resolvido este problema obtém-se a solução do caso térmico correspondente.

2.1 - Preparação dos Testes

As placas laterais são confeccionadas por meio da fundição de naftaleno bidestilado. Após retirar o produto do molde aplica-se fita adesiva por toda a sua superfície externa, conforme a Figura 2.

Para evitar contaminação, as faces a serem sublimadas não devem ser tocadas, e todos os equipamentos de preparação e testes devem ser limpos meticulosamente antes de cada uso.

As placas de naftaleno devem ser envoltas em papel alumínio e colocadas no recinto onde os testes serão efetuados, pelo menos 12 horas antes do início daqueles. Desta maneira proporciona-se o equilíbrio térmico e higroscópico do conjunto com o ambiente cuja temperatura deve ser controlada (Parise, 1978).

2.2 - Equipamentos de Testes

A Figura 3 apresenta uma visão esquematizada do circuito de escoamento de ar.

A vazão de ar na seção de teste é medida por um rotâmetro Fisher Scientific calibrado, apresentando uma incerteza de 2,1%. Instala-se um manômetro diferencial na entrada deste aparelho, o qual indica a queda que a pressão atmosférica sofre até este ponto. O controle da vazão é efetuado por intermédio de uma válvula de gaveta. A introdução de três câmaras plenas em pontos distintos do circuito de escoamento de ar torna o fluxo mais estabilizado.

A colocação do exaustor à vazante da seção de teste evita o preaquecimento do ar que escoa pelo interior do duto em análise. A temperatura do gás é medida por meio de um termômetro de 0,5% de precisão, situado nas proximidades da entrada da seção de testes.

A duração da experiência é medida por um cronômetro digital acionado por uma válvula de corte rápido.

Os pesos das placas de naftaleno são verificados no início e final de cada corrida experimental. Usa-se, para tais medições, uma balança Sartorius de sensibilidade de 0,05 mg.

2.3 - Roteiro de Testes

Uma vez preparadas, as placas de naftaleno são pesadas e então montadas para formar o duto.

Liga-se a exaustão e após esta entrar em regime de funcionamento abre-se a válvula de corte rápido, acionando-se concomitantemente o cronômetro digital. Registram-se então a temperatura, a umidade, a vazão e as pressões, atmosférica e a da entrada do rotâmetro. Verifica-se o nível do rotâmetro, corrigindo-se a vazão, se necessário, em intervalos de cinco minutos. Neste mesmo período registra-se a temperatura.

Transcorrido um tempo predeterminado interrompe-se o escoamento e executa-se a pesagem das placas o mais rapidamente possível. Para maiores detalhes consulte Pereira (1979).

3. REDUÇÃO DE DADOS

Os resultados experimentais são reunidos em grupos adimensionais. O comprimento adimensional x^+ é dado por:

$$x^+ = \frac{L / D_h}{Re \cdot Sc} \quad (1)$$

onde:

L - Comprimento do duto.

D_h - Diâmetro Hidráulico.

Re - Número de Reynolds.

Sc - Número de Schmidt.

O diâmetro hidráulico é dado por:

$$D_h = \frac{4 A_f L}{A_t} \quad (2)$$

onde:

A_f - Área de fluxo do duto.

A_t - Área de transferência.

Dessa forma a Equação 2 torna-se:

$$D_h = \frac{2 (4 - \pi) R}{(\pi + 2)} \quad (2 a)$$

sendo:

R - Raio da parede lateral em centímetros.

O número de Reynolds, Re, segue a definição sugerida por London e Kays (1964):

$$Re = \frac{D_h G}{\nu} \quad (3)$$

onde:

G - Velocidade mássica baseada em A_f .

ν - Viscosidade cinemática para o ar puro.

O número de Schmidt é considerado constante e igual a 2,5 como adotado por Sogin (1958). Para a concentração de vapor de naftaleno na parede, ρ_{nw} , usam-se a correlação de Sogin e a equação dos gases perfeitos.

Obtém-se então a seguinte expressão:

$$\rho_{nw} = \frac{10^{8,884 - (3729,4/T_w)}}{1,3533 T_w} \text{ g/cm}^3 \quad (4)$$

onde:

T_w - Temperatura da parede em Kelvin.

A concentração média do vapor de naftaleno na saída do duto, ρ_{nL} , é calculada por:

$$\rho_{nL} = \frac{\dot{M}}{\dot{V}} \quad \text{g/cm}^3 \quad (5)$$

onde:

$\dot{M}$ - Razão da massa sublimada pela duração da experiência.

$\dot{V}$ - Vazão em volume do ar do canal.

Devido ao sistema de exaustão do laboratório onde as experiências são desenvolvidas e pelo fato de os gases provenientes da seção de teste serem descarregados em outra atmosfera a concentração de vapor de naftaleno na entrada do duto pode ser considerada nula. Assim, a concentração média logarítmica, ρ_{nm} , é dada por:

$$\rho_{nm} = \frac{\rho_{nL}}{\ln \frac{\rho_{nw}}{\rho_{nw} - \rho_{nL}}} \quad \text{g/cm}^3 \quad (6)$$

Define-se então um coeficiente médio de transferência de massa, K , por:

$$K = \frac{\dot{M} / A_t}{\rho_{nm}} \quad \text{cm/s} \quad (7)$$

O número de Sherwood médio, $\overline{Sh}_L$, torna-se:

$$\overline{Sh}_L = \frac{\overline{K} D_h}{D} \quad (8)$$

onde:

D - Coeficiente de difusão do naftaleno no ar.

O coeficiente de difusão é calculado, partindo-se da definição do número de Schmidt:

$$D = \frac{\nu}{Sc} \quad (9)$$

Outro coeficiente médio de transferência de massa, $\bar{K}_0$, pode ser definido com base na diferença de concentrações de vapor de naftaleno na parede, ρ_{nw} , e na entrada do duto, ρ_{no} :

$$\bar{K}_0 = \frac{\dot{M}/A_t}{\rho_{nw} - \rho_{no}} \quad (10)$$

Como a concentração de vapor na entrada do duto, ρ_{no} , é considerada nula, o número de Sherwood médio, $\bar{Sh}_0$, baseado em $\bar{K}_0$, é dado por:

$$\bar{Sh}_0 = \frac{A_f Re Sc \rho_{nL}}{A_t \rho_{nw}} \quad (11)$$

A Equação 11 foi obtida com a aplicação das definições de coeficiente de difusão e concentração média do vapor de naftaleno na saída do duto. De modo análogo obtêm-se:

$$\bar{Sh}_L = \frac{A_f}{A_t} Re Sc \frac{\rho_{nw}}{\rho_{nw} - \rho_{nL}} \quad (12)$$

Das Equações 11 e 12 e da definição de comprimento adimensional chega-se à expressão:

$$\overline{Sh}_L = \frac{1}{4 x^+} \ln \frac{1}{1 - 4x^+ \overline{Sh}_0} \quad (13)$$

4.

RESULTADOS

Constatou-se no decorrer do presente estudo que o número de Sherwood é apenas função do comprimento adimensional; resultado este corroborado por trabalhos anteriores.

O comprimento adimensional situou-se na faixa de 5×10^{-3} a $2,5 \times 10^{-1}$. Problemas de ordem prática limitaram os valores de x^+ . Obtiveram-se, entretanto, valores suficientemente altos que permitiram estimar o número de Sherwood médio para perfis completamente desenvolvidos, $\overline{Sh}_{LD}$.

4.1 - Número de Sherwood Médio $\overline{Sh}_L$

Utilizou-se a Equação 1, cuja forma geral fora proposta por Stephan (1959), para relacionar os valores de $\overline{Sh}_L$ com o comprimento adimensional:

$$\overline{Sh}_L = \overline{Sh}_{LD} + \frac{1}{C_1 (x^+)^{n_1} + C_2 (x^+)^{n_2}}$$

Desenvolveu-se um programa computacional baseado nos trabalhos de Lal & Moore (1976); e Beck & Arnold (1977) que fornece simultaneamente os coeficientes C_1 e C_2 e expoentes n_1 e n_2 , a partir dos pontos experimentais obtidos:

$$C_1 (x^+)^{n_1} + C_2 (x^+)^{n_2} = \frac{1}{\overline{Sh}_L (x^+) - \overline{Sh}_{LD}} \quad (14)$$

onde:

$\overline{Sh}_{LD}(x^+)$ - Pontos retirados da experiência

$\overline{Sh}_{LD}$ - Estimado graficamente.

Chegou-se a uma equação que fornece o menor erro médio na faixa de 7,3% entre os pontos por ela calculados e os pontos experimentais:

$$\overline{Sh}_L = 2,16 + \frac{1}{1,98 (x^+)^{0,5} + 9,11 \times 10^3 (x^+)^{3,0}} \quad (15)$$

A diferença entre o valor assintótico estimado graficamente e o valor que gerou a equação de menor erro médio foi inferior a 1,4%.

4.3 - Número de Sherwood médio $\overline{Sh}_0$

O número de Sherwood médio baseado na diferença de concentrações na parede e na entrada do duto pode ser obtido pela seguinte equação:

$$\overline{Sh}_0 = \frac{1}{4 x^+} [1 - \exp(-4 x^+ \overline{Sh}_L)] \quad (16)$$

A Figura 3 mostra $\overline{Sh}_0$ em função do comprimento adimensional.

4.5 - Estimativa do número de Nusselt

Conduziram-se os experimentos de forma a obter escoamento laminar em regime permanente no interior do duto; manteve-se o número de Reynolds sempre acima de um valor que permitisse desprezar os efeitos da sublimação por convecção livre, fizeram-se também as seguintes hipóteses:

a) As propriedades do fluido são independentes da temperatura.

- b) Os termos de dissipação viscosa e trabalho de compressão, na equação de energia, são desprezíveis em relação à troca de calor entre o fluido e as paredes do duto.
- c) Os perfis de velocidade e temperatura são uniformes.
- d) A condução de calor axial é desprezível em comparação à condução de calor transversal.
- e) A difusão do naftaleno no ar ocorre sem reações químicas e troca de calor.

Deste modo é pertinente a aplicação da analogia entre transferência de calor e massa.

Durante a realização do presente trabalho considerou-se o número de Schmidt como constante e igual a 2,5. Com isso, não foi verificada a dependência de $\overline{Sh}_L$ com este adimensional. Porém, como o valor assintótico, $\overline{Sh}_{LD}$, independente de Sc , é de se esperar que, na região próxima ao desenvolvimento completo dos perfis hidráulico e de concentração de vapor, sua influência seja desprezível. Logo, pode-se supor que na Equação 1 a primeira parcela do denominador seja dada da forma:

$$C \quad Sc^m \quad (x^+)^{n_1}$$

isto é:

$$C_1 = C \quad Sc^m \tag{17}$$

Trabalhos anteriores, como o de Fernandes (1977), mostram que para diversas geometrias o valor do expoente m é igual a 1/6. Portanto, este valor também será empregado para o duto em questão. Numericamente tem-se:

$$C_1 = 1,70 \quad Sc^{1,6} \tag{17 a}$$

Assim, pode-se escrever a equação:

$$\overline{Sh}_L = 2,16 + \frac{1}{1,70 Sc^{1,6} (x^+)^{0,5} + 9,11 \times 10^3 (x^+)^{3,0}} \quad (18)$$

Analogamente:

$$\overline{Nu}_L = 2,16 + \frac{1}{1,70 Pr^{1/2} (x^+)^{0,5} + 9,11 \times 10^3 (x^+)^{3,0}} \quad (19)$$

Da mesma forma $\overline{Nu}_0$ é dado por:

$$\overline{Nu}_0 = \frac{1}{4 x^+} \left[1 - \exp(-4 x^+ \overline{Nu}_L) \right] \quad (20)$$

5.

ANÁLISE E COMENTÁRIOS

- a) Para a obtenção de maiores valores de x^+ seria necessária a fundição de placas maiores ou número de Reynolds mais baixos. Devido à fragilidade das placas seu comprimento máximo foi de $L = 150$ mm.
- b) O menor número de Reynolds usado foi de $Re = 115$, abaixo do qual pode ocorrer influência sensível da convecção livre. (Parise, 1978).
- c) Notou-se que o expoente n_1 tem o mesmo valor que o expoente de x^+ para placas planas. Verifica-se que, para pequenos valores do comprimento adimensional x^+ , $\overline{Sh}_L$ é principalmente influenciado pelo inverso de $C_1 (x^+)^{n_1}$. Isto ocorre pelo fato de n_2 ser maior que a unidade, e nesta região $\overline{Sh}_{LD}$ exercer pouca influência no

13
valor de $\bar{Sh}_L$. Constata-se então que as laterais do duto compor-
tam-se como placas planas para regiões próximas da entrada do
canal.

- d) Como pode ser verificado pela Figura 4 valores pequenos de x^+ , $\bar{Sh}_D$ e $\bar{Sh}_L$ tendem a se igualar.

NOMENCLATURA

- A_f - Área da seção transversal do duto.
 A_t - Área de transferência de calor ou massa.
 C_1 - Coeficiente de polinômio.
 C_1' - Coeficiente de polinômio.
 C_2 - Coeficiente de polinômio.
 D_h - Diâmetro hidráulico.
 G - Velocidade da massa baseada na seção transversal do duto.
 $\bar{K}$ - Coeficiente de transferência de massa médio definido a partir da diferença entre a concentração de vapor na parede de naftaleno e a concentração de vapor da mistura na saída do canal.
 $\bar{K}_o$ - Coeficiente de transferência de massa médio definido a partir da diferença das concentrações de vapor na parede de naftaleno e na mistura à entrada do canal.
 L - Comprimento do duto.
 $\dot{M}$ - Taxa de transferência de massa de naftaleno.
 $\overline{Nu}_L$ - Número de Nusselt médio definido com base na diferença de temperatura entre a parede e o fluido na saída do canal.
 $\overline{Nu}_{LD}$ - Número de Nusselt médio para escoamento termica e hidraulicamente desenvolvido.
 $\overline{Nu}_o$ - Número de Nusselt médio baseado na diferença das temperaturas da parede e do fluido à entrada do canal.

- R - Raio de curvatura da parede.
- Sc - Número de Schmidt.
- $\overline{Sh}_L$ - Número de Sherwood médio definido com base na diferença de concentração de vapor de naftaleno na lateral e no fluido à saída do duto.
- $\overline{Sh}_{LD}$ - Número de Sherwood médio para escoamento com perfis hidráulico e de concentrações de vapor desenvolvidos.
- $\overline{Sh}_0$ - Número de Sherwood médio definido a partir da diferença de concentração de vapor de naftaleno na parede e no fluido à entrada do canal.
- $\dot{V}_Z$ - Vazão em volume.
- x^+ - Comprimento adimensional.

LETRAS GREGAS

- $\mathcal{D}$ - Coeficiente de difusão.
- ν - Viscosidade cinética do ar.
- ρ_{nL} - Concentração média global do vapor de naftaleno.
- ρ_{n0} - Concentração de vapor de naftaleno no fluido à entrada do canal.
- ρ_{nw} - Concentração de vapor de naftaleno na parede do duto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beck, J.V. & Arnold, K., "Parameter Estimation in Engineering and Science", Wiley Interscience 1977.
- Fernandes, E.C., "Analogia entre Transferência de Calor e de Massa no Escoamento entre Placas Planas Paralelas", Tese de Doutorado, Divisão de Engenharia Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, Abril de 1977.
- Kays, W.M., "Convective Heat and Mass Transfer", Mc Graw-Hill, New York, 1966.
- Lal, M. & Moore, E., "An Iterative Technique for Fitting Exponentials", Int. J. Num. Meth. Engne. 10, 979-990, 1976.
- Lombardi, G., & Sparrow, E.M., "Measurements of Local Transfer Coefficients of Developing Laminar Flow in Flat Rectangular Ducts", International Journal of Heat and Mass Transfer Vol. 17, 1974, pp. 1135-1140.
- Parise, J.A.R., "Coeficientes de Transporte para Trocadores de Calor e Dutos Triangulares", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Julho de 1978.
- Pereira, E.A.G., "Coeficientes de Transporte em Trocadores de Calor e Massa Compactos", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Agosto de 1979.
- Sogin, H.H., "Sublimation from Disks to Air Streams Flowing Normal to their Surfaces", Transactions ASME, Vol. 80, 1958, pp. 61 - 71.

- Stephan, K., "Warmeubergang und Druckbfall bei nicht ausgebildeter Laminarstromung in Rohten und in ebenen, Spalten", Chemic - Ingr. - Tech., Vol 31, 1959, pp. 773-778.

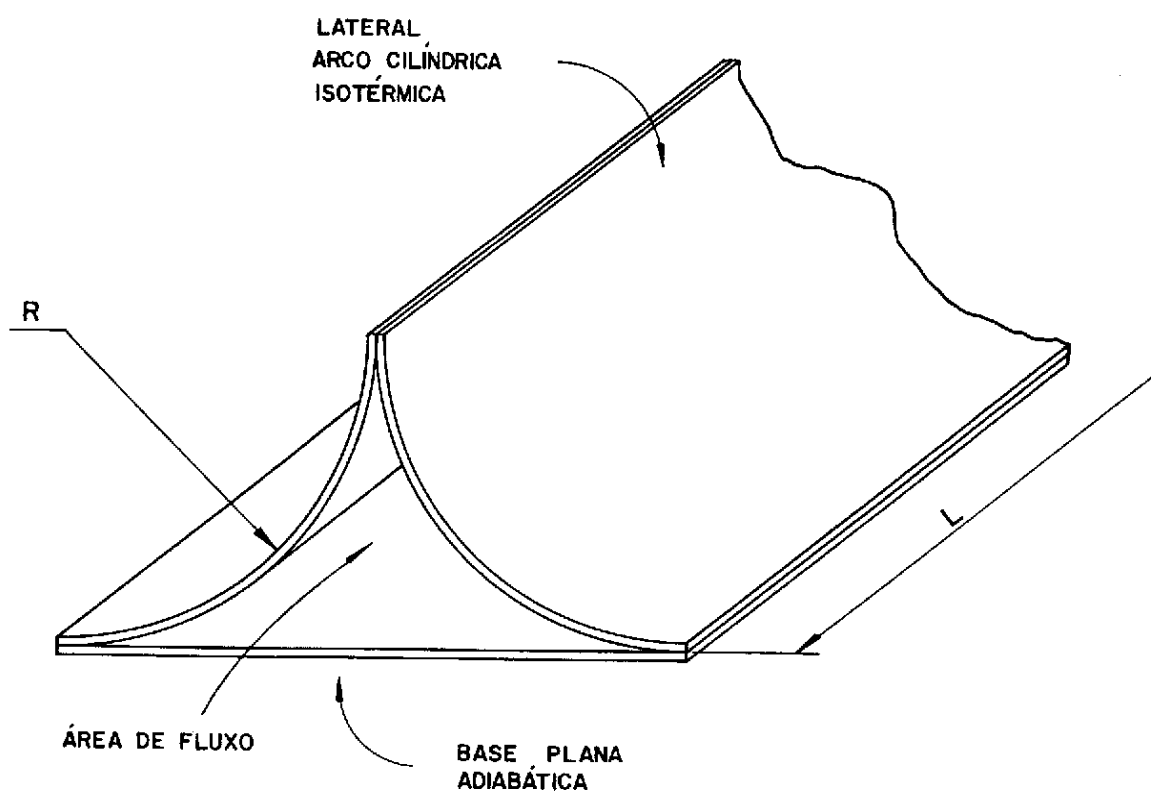


FIG. I — DUTO EM ANÁLISE

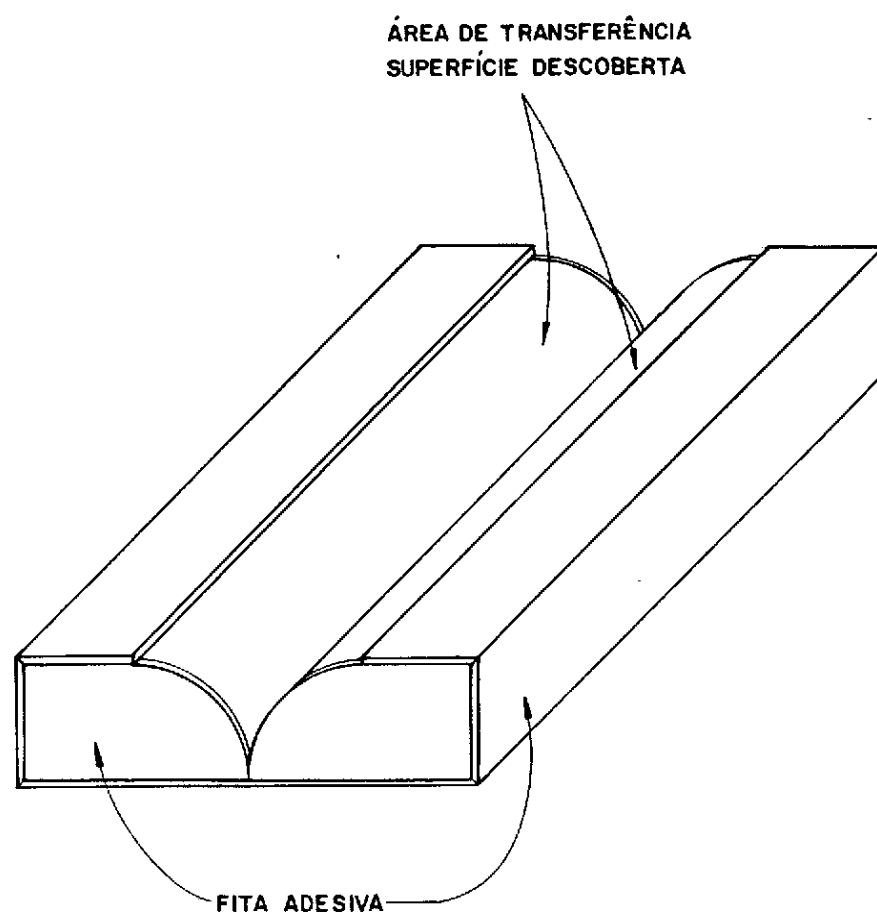


FIG. 2 — COLOCAÇÃO DE FITA ADESIVA NAS PLACAS
DE NAFTALENO.

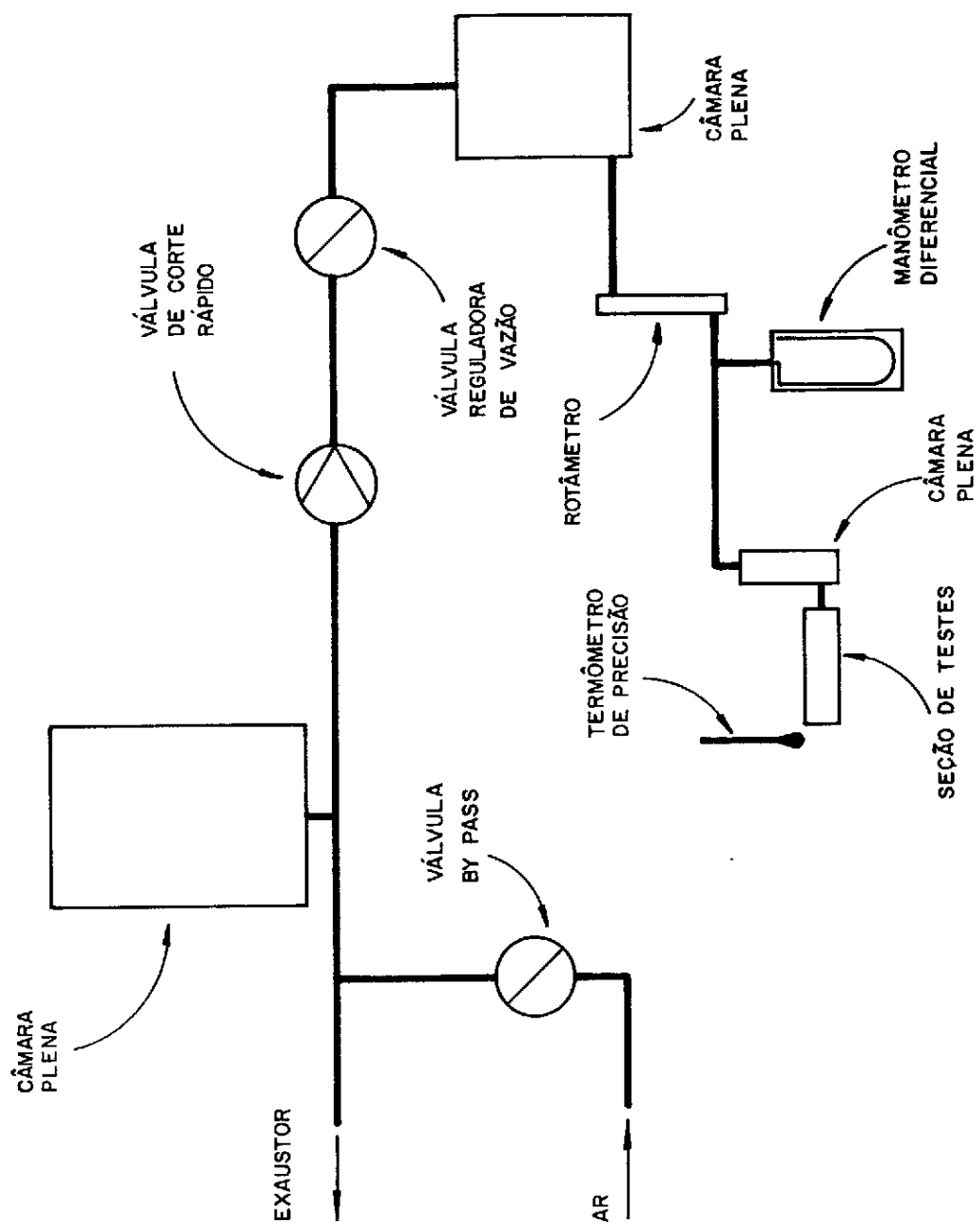


FIG. 3 — CIRCUITO DE ESCOAMENTO DE AR.

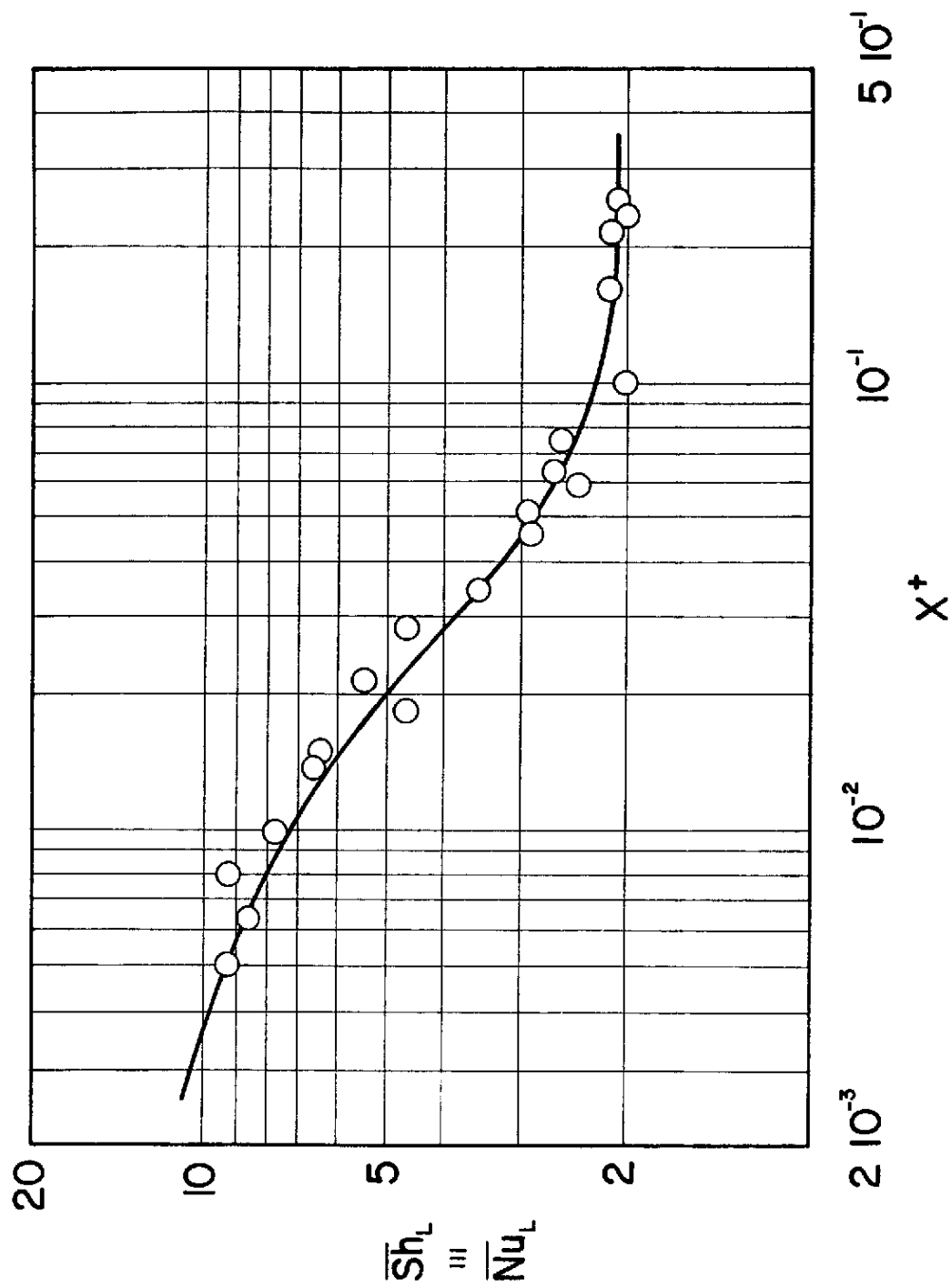


FIG. 4 — NÚMERO DE SHERWOOD MÉDIO, $\bar{Sh}_L$, PARA $Sc = 2,5$

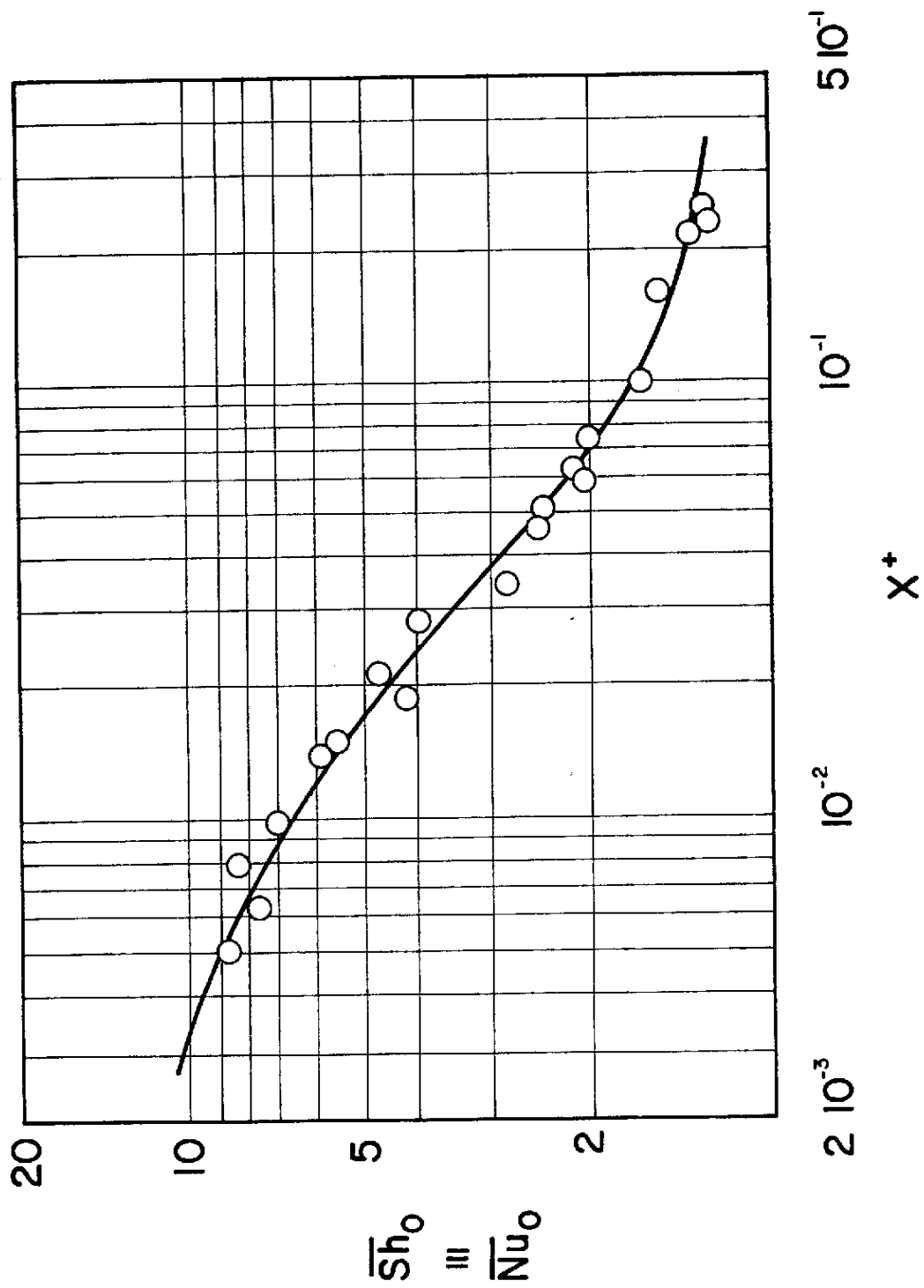


FIG. 5 — NÚMERO DE SHERWOOD MÉDIO, $\overline{Sh}_o$, PARA $Sc = 2,5$.

ENSOLAÇÃO

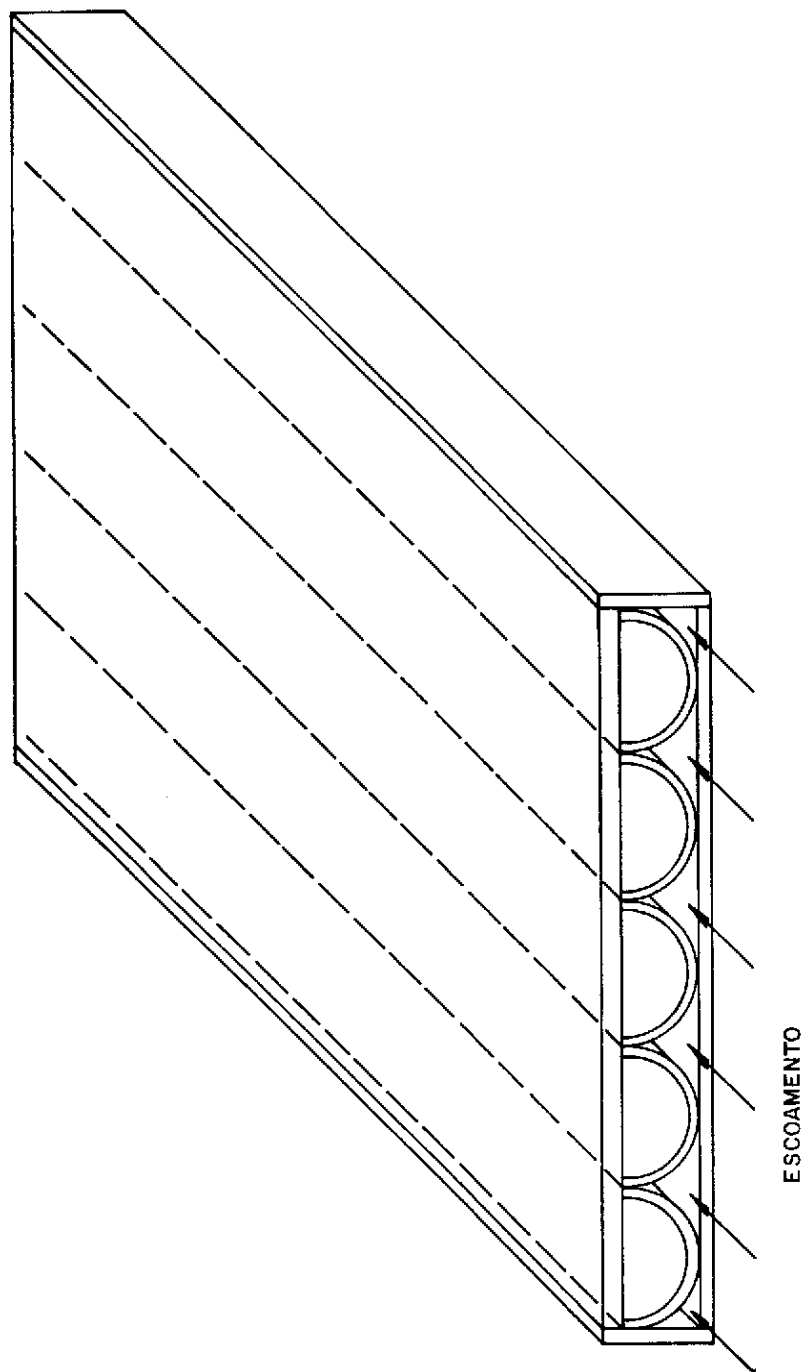


FIG. 6 — COLETOR SOLAR DE CAVIDADES CILÍNDRICAS APLICANDO — SE O DUTO ESTUDADO.

São José dos Campos, September 3, 1982

Ref.: 30.100.000.1419-82

Dr. Juan Alberto Bressan
Secretario Ejecutivo
Comité Argentino de Transferencia de Calor y Materia
Casilla de Corre nº 91
3000 - Santa Fé
República Argentina

Dear Dr. Bressan:

Enclosed please find the following paper (3 copies) for presentation in the First Latin American Congress on Heat and Mass Transfer.

"Transport Coefficients for a Compact Heat and Mass Exchanger" by Pereira, E.A.G.

Thanking you,

Sincerely yours,

original assinado por
NELSON DE JESUS PARADA
Nelson de Jesus Parada
Director General

Mail correspondence to:

INPE
C.P. 515
12200 - São José dos Campos - SP
Brazil

NSV/z1

TRANSFER COEFFICIENTS FOR A COMPACT HEAT AND MASS EXCHANGER

E.A.G. Pereira

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

12630 - Cachoeira Paulista, SP, Brazil

The present need of building more and more compact equipment generates the use of new geometries whose characteristics may be unknown. Non-circular ducts, for instance, are often employed in several fields of mechanical engineering. The energy crisis is leading the world scientific community into the development of new sources of energy as well as into the re-evaluation of old ones which present some new hope. Such is the case of the renewed interest in the use of solar energy. However, it is known that this energy, although free and abundant does present some disadvantages, one of them being the low performance of its collectors. It is essential to find ways of continuously improving the efficiency without overtaxing the overall costs.

This work deals with the analysis of a duct which employs the cavity effect in assembling a simple and compact solar thermal collector. The duct analysed was made up of two cylindrical side walls and an adiabatic base plate. The mass transfer coefficients for forced convection in laminar flow were found. Applying the heat and mass transfer analogy the heat coefficients were obtained, using the naphthalene sublimation technique. In the use of the analogy, the wall temperature corresponds to the wall naphthalene vapor concentration, so that the adiabatic base plate was represented by an inert material and the isothermal surfaces by the naphthalene which possesses a constant vapor concentration along its surface. The side walls mass change, due to sublimation, supplied the overall mass transfer coefficients. These were stated in dimensionless form as Sherwood's number (Sh). An equation giving the average Sherwood's number ($\overline{Sh}$) as a function of the dimensionless length (x^+) was obtained from the experimental points. The profile was not fully developed. In accordance with the analogy the overall heat transfer coefficients were found.

COMBUSTION INSTABILITY CONTROL IN SOLID PROPELLANTS

C.E. Rolfsen Salles

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

12630 - Cachoeira Paulista, SP, Brazil

This work studies some aspects of solid propellant combustion instability problems. These instabilities arise from the coupling between the existing combustion and acoustic fields in the motor chamber and its surroundings. One of the tools used to study the above phenomena is the T-burner. These instabilities are noticed through oscillations in pressure and velocity within the combustion chamber. The amplitude of these oscillations is connected to the system gains and losses. If the former are larger than the latter, the amplitude grows until the end of the burning.

The linear analysis of the conservation equations in this problem leads to the definition of the Acoustic Admittance which can be related to the growing and damping of these oscillations as well as with the mean flow properties. Hence the Acoustic Admittance is a surface effect since it represents the system ability in sustaining (or not) pressure oscillations. As it is well known the amplitude of these oscillations may exceed the structural strength of rocket engines, bursting it or at least jeopardizing very seriously the motor performance. Among the techniques used to suppress these instabilities there is that of adding some metallic powder to the propellant composition. This work deals with the influence of the oxidant to fuel ratio in solid propellants in the growing of these oscillations as well as their control through the addition of metal powders. The resonant frequency of the oscillations depends on the length of the T-burner. Here three different lengths are used, three different frequencies being studied. Pressure recordings are obtained with piezoelectric transducers and the growth and damping constants are extracted from the filtered signal. The mean flow parameters are calculated through the minimization of the Gibbs function with the

Lagrange multipliers technique. The data allow calculating the real part of the Acoustic Admittance.

1