



XVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 02 a 06/08/2010 - Viçosa – MG
Paper CREEM2010-SF-21

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO ESCOAMENTO EM REGIME PERMANENTE AO LONGO DE TUBOS CAPILARES ADIABÁTICOS

Vinícius Brandani Labigalini e André Luiz Seixlack

UNESP, Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Mecânica
Campus Universitário - Centro - CEP 15385-000 – Ilha Solteira – São Paulo
E-mail para correspondência: vini_labigalini@hotmail.com

Introdução

Atualmente a comunidade científica tem analisado as questões de degradação ao meio ambiente e dentre essas está o problema da redução da camada de ozônio. Uma das razões dessa redução é a emissão dos refrigerantes halogenados, os clorofluorcarbonos, também conhecidos como CFC's, usados nos sistemas de refrigeração e ar condicionado. Para tanto, pesquisas tem sido realizadas com o intuito de substituir esses refrigerantes por outros menos agressivos à camada de ozônio, dentre os quais se cita o R-134a, utilizado nesse trabalho.

Essa mobilização pela substituição dos CFC's e HCFC's, tem motivado também a realização de pesquisas na análise do escoamento nos componentes dos sistemas de refrigeração e ar condicionado em relação aos novos fluidos refrigerantes, visando sempre a sua otimização. Dentre esses componentes os tubos capilares têm sido extensivamente analisados. Esses componentes são dispositivos de expansão de seção constante, largamente usados em sistemas de refrigeração por compressão de vapor de pequeno porte.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é elaborar um modelo matemático para a simulação do escoamento ao longo de tubos capilares adiabáticos.

Metodologia

Para a análise do escoamento ao longo do tubo capilar, divide-se o tubo em duas regiões: região líquida de escoamento monofásico em estado líquido sub-resfriado, e região bifásica, de escoamento líquido-vapor. As hipóteses deste modelo computacional são: tubo capilar com diâmetro constante reto e horizontal, o escoamento é adiabático e unidimensional, o escoamento na região de líquida é considerado incompressível, na região bifásica o escoamento é considerado homogêneo, o refrigerante é isento de óleo e o fenômeno de metaestabilidade do escoamento não é considerado.

O modelo matemático do escoamento foi desenvolvido com base nas equações da conservação da massa, da quantidade de movimento e de conservação da energia. Considerando as hipóteses anteriores, tais equações, são respectivamente,

$$\rho \frac{du}{dz} + u \left(\frac{d\rho}{dp} \right) \frac{dp}{dz} = 0 \quad (1)$$

$$\rho u \frac{du}{dz} + \frac{dp}{dz} = - \frac{f \rho u^2}{2d} \quad (2)$$

$$u \frac{du}{dz} + \frac{dh}{dz} = 0 \quad (3)$$

nas quais ρ é a massa específica [Kg/m^3], z é a coordenada ao longo do tubo [m], u é a velocidade média do refrigerante na seção transversal do tubo [m/s], p é a pressão do escoamento [Pa], f é fator de atrito entre o fluido refrigerante e a parede do tubo, h é a entalpia [J/Kg] e d é o diâmetro interno do tubo [m].

O modelo computacional proposto utiliza o método de Runge-Kutta de 4ª ordem para a solução numérica das Eqs. (1) a (3) e pode ser empregado para determinar o comprimento do tubo ou a vazão em

massa de refrigerante. Para o cálculo do comprimento do tubo, as condições de operação do tubo são conhecidas e o sistema de Eqs. (1) a (3) é solucionado apenas uma vez. Para o cálculo da vazão em massa de refrigerante, o comprimento do tubo e as demais condições de operação são conhecidas. Nesse esse o processo de solução é iterativo, pois as equações governantes dependem da vazão em massa.

Resultados

Os resultados calculados foram comparados com os resultados experimentais apresentados por Melo et al. (1995). Os tubos capilares analisados são identificados como capilar 1, com comprimento de 2998 mm, diâmetro de 0,606 mm e rugosidade absoluta de 1,08 μm , e capilar 2, que possui comprimento de 2973 mm, diâmetro interno de 0,871 mm e rugosidade absoluta 0,71 μm , Melo et al. (1995).

Neste trabalho, a primeira análise realizada foi a determinação dos comprimentos dos capilares 1 e 2, usando-se como critério a condição de escoamento bloqueado na saída do tubo. Nas Figuras 1(a) e 1(b) apresentam-se as distribuições de pressão, respectivamente ao longo dos capilares 1 e 2, comparadas com os resultados experimentais. Para esses casos, a correlação de Churchill (1977) foi usada para o cálculo do fator de atrito de Darcy na região líquida, e na região bifásica, as correlações de Erth (1970) e a de Lin et al. (1991) foram testadas para o cálculo do fator de atrito.

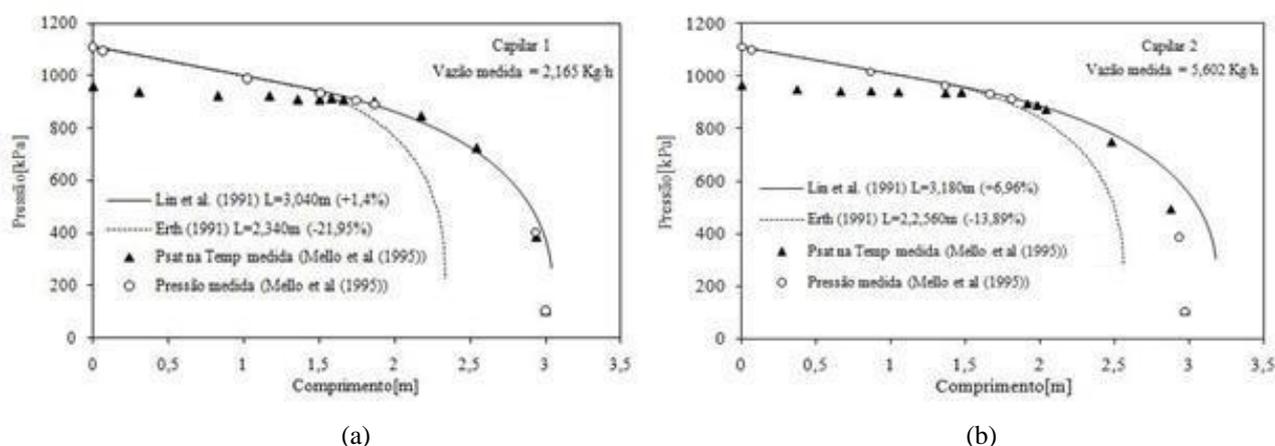


Figura 1 – Distribuições de pressão ao longo dos capilares - (a) Capilar 1: Pent = 1111 kPa; Tent = 37,6°C e (b) Capilar 2: Pent = 1110 kPa; Tent = 38,0°C .

Observa-se nas Figs. 1(a) e 1(b) que a redução de pressão na região líquida é praticamente linear ($z \approx 1,5$ m para o Capilar 1 e $z \approx 1,4$ m para o Capilar 2), uma vez que o escoamento nessa região é considerado incompressível. Na região bifásica, a redução de pressão é consideravelmente maior em razão da aceleração e dos efeitos causados pelo atrito na região bifásica.

Conclusões

Os resultados obtidos correlação de Lin et al. (1991) ficaram próximos dos dados experimentais se comparados aos resultados obtidos com a correlação de Erth (1970). Observa-se nas Figs. 1(a) e 1(b) que os desvios percentuais entre os comprimentos dos tubos calculados e medidos foram bem menores quando a correlação de Lin et al (1991) foi usada. Futuramente, será implementado no código computacional o procedimento que realizará o cálculo da vazão em massa do escoamento para capilares, e em seguida o módulo para a resolução do regime transiente do escoamento ao longo do tubo capilar.

Referências Bibliográficas

- Churchill, S. W., 1977, Friction-Factor Equation Spans all Fluid-Flow Regimes, Chemical Engineering, vol. 84, pp 91 – 92.
- Erth, R. A., 1970, Two-Phase Flow in Refrigeration Capillary Tubes: Analysis and Prediction, Ph. D. Thesis, Purdue University, USA.
- Lin, S.; Kwork, C. C. K.; Li, R. Y.; Chen, Z. H.; Chen, Z. Y., 1991, Local Frictional Pressure Drop During Vaporization of R-12 Through Capillary Tubes, International Journal of Multiphase Flow, vol.17, n. 1, pp. 95 – 102.
- Melo, C.; Ferreira, R. T. S.; Boabaid Neto, C.; Gonçalves, J. M.; Stahelin, R., 1995, Análise do Desempenho de Tubos Capilares – Parte III. Relatório de Pesquisa – Convênio EMBRACO/FEESC/EMC/UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.