



ESTUDO DO REGIME TRANSIENTE DE FLUIDOS COMPRESSÍVEIS EM TUBULAÇÕES COM ÁREA VARIÁVEL

O. J. Romero

oldrich@mec.puc-rio.br

A. O. Nieckele

nieckele@mec.puc-rio.br

Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica – PUC/Rio
R. Marquês de São Vicente 225- Gávea, 22453-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Resumo. *A simulação numérica do escoamento de líquidos e gases compressíveis em tubulações com área variável é apresentada. As equações diferenciais de conservação de massa, quantidade de movimento linear e energia para escoamentos compressíveis em tubulações são resolvidas por dois métodos numéricos diferentes. Um método de diferenças finitas não conservativo e um método de volumes finitos conservativo são empregados. Os algoritmos foram validados utilizando resultados disponíveis na literatura. Mostra-se que o método conservativo fornece uma solução onde existe um perfeito balanço de massa. Portanto, este método é mais confiável quando um balanço de massa perfeito deve ser obtido dentro da precisão da máquina, como é o caso para situações onde deseja-se detectar vazamentos. Por outro lado, como o método não conservativo apresenta um acoplamento mais forte entre a equação de estado e a equação da continuidade, o algoritmo resultante é mais estável.*

Palavras-chave: *compressível, área variável, transiente, conservativo, não conservativo.*

1. INTRODUÇÃO

Tubulações com variação da área estão presentes em diversas situações industriais. Tem-se por exemplo obstruções curvilíneas em tubulações causados por deposição da parafina, redução na seção pela presença de válvulas durante o transporte de produtos da indústria do petróleo, flanges, escoamentos através de dutos convergentes – divergentes, escoamentos através de contrações ou expansões abruptas, etc. Existem diversos trabalhos na literatura que abordam estes problemas, tem-se por exemplo os trabalhos de Karimian e Schneider (1994), Katz e Shaughnessy (1990), Heiser *et. al.* (1995), Mendes e Braga (1996).

A atividade de transporte de petróleo, gás natural e seus derivados vem crescendo significativamente, especialmente no últimos anos, devido ao aumento da demanda e da produção em diversos países da América Latina e Sudeste Asiático. Estes produtos devem ser transportados dos locais de produção até o mercado de consumo, percorrendo grandes distâncias. As indústrias que operam os diferentes tipos de tubulações existentes, requerem trabalhar com segurança, isto origina um grande avanço nas técnicas de controle, operação e

manutenção das tubulações, sendo que o controle e detecção de vazamentos tem recebido especial atenção, devido a aspectos financeiros e ecológicos. As metodologias para detectar vazamentos devem apresentar perfeito balanço de massa, pois o desbalanceamento da mesma, indica a existência de vazamentos.

Os procedimentos numéricos empregados pelos pesquisadores para a obtenção das soluções aproximadas são diversas (Liou, 1983, Whaley e Ellul, 1992, Olorunmaiye, 1994). Neste trabalho pretende-se fazer uma comparação entre as soluções obtidas pelo método dos volumes finitos com uma formulação conservativa e o método de diferenças finitas com formulação não conservativa, sendo este último obtido com a utilização do *software* PIGSIM (1998). Concentra-se na influência da variação da área de tubulações nos escoamentos compressíveis de líquidos e gases.

2. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

O escoamento de fluido compressível em tubulações é governado pelas equações de conservação de massa, quantidade de movimento linear e energia. Além dessas equações uma equação de estado deve ser utilizada.

Considerando o escoamento unidimensional, em um duto de área variável, com propriedades constantes com exceção da massa específica, pode-se obter as equações de conservação para as duas formulações, conservativa e não conservativa.

De acordo com o volume de controle elementar ilustrado na Fig. 1, as equações de conservação de massa, quantidade de movimento linear e energia para a formulação conservativa são

$$\frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (\rho dV) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (\rho AU) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (\rho U dV) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (\rho AUU) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{f \rho U |U|}{2D} - \rho g \sin \alpha \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (\rho h dV) + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (\rho AUh) &= \frac{1}{dV} \frac{\partial}{\partial t} (p dV) + U \frac{\partial p}{\partial x} + \\ &+ \frac{f \rho |U|^3}{2D} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kA}{C_p} \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{4U_G}{DC_p} (h - h_\infty) \end{aligned} \quad (3)$$

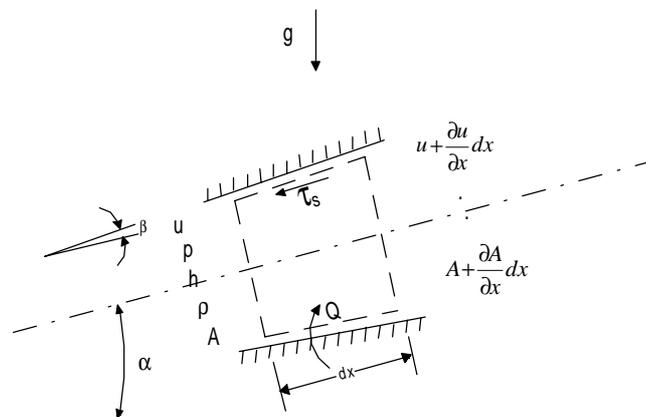


Figura 1- Volume de controle elementar

onde U é a velocidade do fluido, p é a pressão, h a entalpia, ρ a massa específica, A é a área da seção transversal ($A = \pi D^2/4$), α o ângulo que o eixo faz com a horizontal, x é a direção do escoamento, f é o fator de atrito, g é a aceleração da gravidade, U_G coeficiente global de troca de calor do fluido com o ambiente, cuja entalpia e temperatura são respectivamente h_∞ e T_∞ , k e C_p são a condutividade térmica e o calor específico a pressão constante. Sendo que $dV = A dx$ é o diferencial de volume, e a variável t denota o tempo.

Nas equações acima, o fator de atrito f é determinado a partir das expressões correspondentes a escoamento hidrodinamicamente desenvolvido em tubos circulares. A área pode variar por causa da utilização de tubulações diferentes ou por causa de deformações da tubulação devido à pressão interna, resultando na seguinte dependência do diâmetro com a pressão, a partir de um diâmetro de referência D_{ref} , avaliado a pressão atmosférica p_{atm} .

$$D = \frac{D_{ref}}{[1 - C_D(p - p_{atm})]}, \quad C_D = \frac{(1 - \mu^2)D_{ref}}{2eE} \quad (4)$$

onde e é a espessura da parede da tubulação, E o módulo de elasticidade de Young e μ coeficiente de Poisson.

Com a formulação não conservativa, estas equações podem ser rescritas como

$$\frac{\partial p}{\partial t} + U \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\rho a^2}{\xi} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\rho a^2 U}{\xi A} \frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\rho a^2 \beta}{\xi C_p} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\rho a^2 \beta}{\xi C_p} U \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{f|U|U}{2D} - g \sin \alpha \quad (6)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + U \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{U}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{f|U|^3}{2D} + \frac{1}{\rho A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kA}{C_p} \frac{\partial h}{\partial x} \right) - \frac{4U_G}{\rho D C_p} (h - h_\infty) \quad (7)$$

onde a é a velocidade do som, β é o coeficiente de expansão térmica, $\sqrt{a^2/\xi}$ é a velocidade da onda, $\xi = 1 + a^2 \rho D(1 - \mu^2)/(eE)$.

Considerou-se a dependência da massa específica na pressão e temperatura. Para líquidos

$$\rho = \rho_{ref} \left[1 - \beta (T - T_{ref}) \right] + \frac{(p - p_{ref})}{a^2} \quad (8)$$

e para gases

$$\rho = \frac{p}{zRT} \quad (9)$$

onde z é o coeficiente de compressibilidade, ref indica valores de referência, β é o coeficiente de expansão térmica constante para líquidos, e para gases $\beta = 1/T$. A velocidade do som a foi considerada constante no líquido e variável no gás segundo $a^2 = zRT$. Considerou-se para ambos os fluidos que $dh = C_p dT$.

3. MÉTODO NUMÉRICO

Para a discretização das equações na forma conservativa, Eqs. (1) a (3), utilizou-se o método dos volumes finitos proposto por Patankar (1980). A velocidade e a entalpia foram localizadas nas faces dos volumes de controle, enquanto que a pressão foi armazenada no ponto nodal central. Utilizou-se integração temporal totalmente implícita, e o método *upwind* para a integração dos termos espaciais convectivos e diferenças centrais para os outros termos.

Para solução do sistema algébrico resultante, utilizou-se um procedimento direto para a solução da velocidade e pressão, com um algoritmo hepta-diagonal, baseado no algoritmo SIMPLER (Patankar, 1980), onde uma equação para a pressão é obtida combinando-se a equação de conservação de massa e quantidade de movimento. Uma vez obtida a solução deste sistema, a equação da energia é resolvida pelo algoritmo TDMA (Patankar, 1998). Uma vez que o problema é não linear, diversas iterações deste procedimento, com atualização das propriedades relevantes, são realizadas a cada passo de tempo até obtenção de convergência.

Para a discretização das equações na forma não conservativa, Eqs. (5) a (7), utilizou-se o método de diferenças centrais para todos os termos espaciais, e integração temporal totalmente implícita. As variáveis foram armazenadas nas mesmas posições que o método conservativo. O sistema algébrico resultante foi resolvido por um algoritmo penta-diagonal para as situações isotérmicas e um algoritmo hepta-diagonal para situações não isotérmicas. Como no método não conservativo, o acoplamento entre a massa específica e pressão/temperatura é introduzido diretamente dentro das equações de conservação, assim como o acoplamento pressão-área, não há necessidade de atualizar os coeficientes a cada iteração.

4. RESULTADOS

Para verificar a confiabilidade do código computacional implementado, efetuaram-se comparações com as soluções numéricas obtidas por Wylie & Streeter (1978) e com a solução analítica do problema de Fanno (Fox & McDonald, 1988). As validações feitas foram

- ⊙ Escoamento de líquido numa tubulação com válvula na saída.
- ⊙ Escoamento de gás através de tubulações em série com diferentes elevações e diâmetros.
- ⊙ Escoamento adiabático de gás em duto de seção constante com atrito. (Problema de Fanno).

A concordância entre os resultados do presente modelo e os dados da literatura foram muito boas. Os detalhes destas comparações podem ser encontradas em Romero, O.J. (1999).

Apresentam-se a seguir resultados das simulações efetuados com o modelo conservativo, desenvolvido neste trabalho e com o modelo não conservativo obtido com o *software* PIGSIM (1998). Devido a limitação de espaço, serão apresentados testes realizados em duas geometrias. A primeira consiste em um tubulação com flanges, onde considera-se o escoamento tanto de um gás quanto de um líquido, ambos isotérmicos. A segunda, consiste no clássico escoamento isoentrópico em uma tubulação de área variável.

4.1 Escoamento de um gás numa tubulação com flanges

Considera-se o escoamento isotérmico, $T = 293$ K, de nitrogênio numa tubulação não rígida horizontal, com diâmetro de referência D . A tubulação apresenta dois flanges internos de espessura t_f e diâmetro D_f , como é mostrado na Fig. 2.

As propriedades do nitrogênio, considerado com gás ideal são: constante do nitrogênio $R = 287$ N.m/(kg.K) e o fator de compressibilidade foi especificado como $z = 1,04$. Viscosidade absoluta constante, $\mu_{fl} = 1,5 \times 10^{-5}$ kg/(m.s).

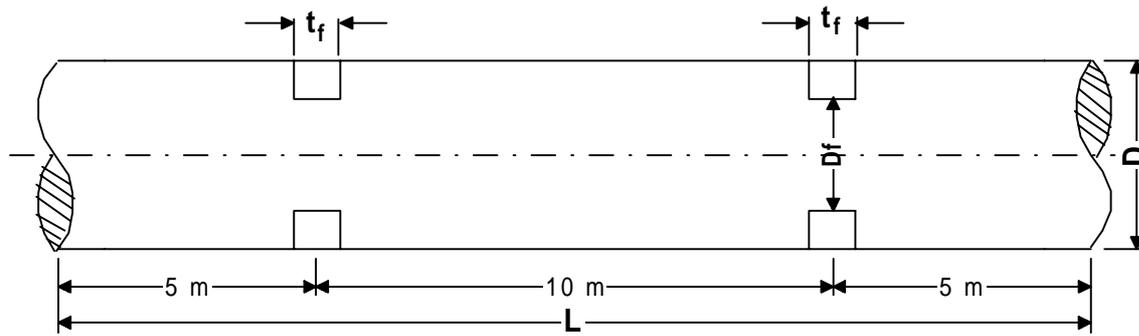


Figura 2 - Tubulação com Flanges

O fator de atrito de Darcy f , depende do número de Reynolds, $Re = \rho UD/\mu_{fl}$ e da rugosidade relativa da tubulação ε/D (Fox & McDonald, 1995)

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{para } Re \leq 2300 \quad \text{e} \quad f = 0,25 \left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} \quad \text{para } Re > 2300 \quad (10)$$

Os dados referentes a tubulação são

- ⊙ Comprimento da tubulação, $L = 20 \text{ m}$
- ⊙ Diâmetro, $D = 0,1 \text{ m}$
- ⊙ Diâmetro interno do flange, $D_f = 0,098 \text{ m}$
- ⊙ Módulo de Young, $E = 2 \times 10^{11} \text{ Pa}$
- ⊙ Coeficiente de Poisson, $\mu = 0,3$
- ⊙ Espessura da parede, $e = 6 \text{ mm}$
- ⊙ Rugosidade, $\varepsilon = 0,05 \text{ mm}$

Como condição inicial considerou-se o fluido em repouso e conseqüentemente distribuição de pressão uniforme ao longo da tubulação, igual a pressão atmosférica.

As seguintes condições de contorno foram utilizadas: na entrada especificou-se a vazão em massa variando linearmente até atingir o valor constante de 0,06 kg/s em 1 segundo, na saída manteve-se a pressão constante e igual a 1,0 MPa.

Os resultados da simulação com o método conservativo foram comparados com os resultados do *software* PIGSIM (não conservativo). Inicialmente, utilizou-se a mesma malha para os dois *softwares*, isto é, o domínio foi dividido em 5 elementos, consistindo da região de entrada, primeiro flange, região central, segundo flange, região de saída. Especificou-se 12 volumes de controle na região de entrada e saída, 14 volumes de controle na região central e 4 volumes de controle para cada flange. Em cada região a malha foi uniformemente distribuída. A seguir, como o *software* PIGSIM é não conservativo sendo sensível a mudança de área, refinou-se a malha nas proximidades dos flanges. Manteve-se o mesmo número de pontos em cada região, porém, concentrou-se os pontos nos dois lados dos flanges.

A Figura 3 ilustra a variação da massa na saída da tubulação com o tempo para as três simulações. Na mesma figura, a vazão em massa na entrada também é apresentada, para que seja possível verificar se a massa está sendo conservada. Na legenda da figura, PIGSIM-a refere-se a malha uniforme por região, enquanto PIGSIM-b refere-se a malha concentrada próximo aos flanges. A Fig. 4 corresponde a variação temporal da pressão manométrica na entrada.

Pode-se observar pela Fig. 3, que o presente modelo apresenta a mesma vazão em massa na entrada e na saída, indicando que conserva massa. Durante o transiente inicial, nota-se pela Fig. 4, que a pressão na saída oscila até se estabilizar em um valor constante de 0,12 kPa. O

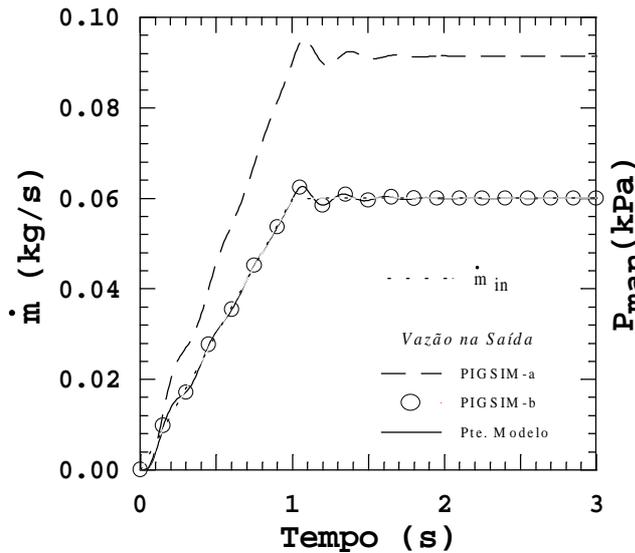


Figura 3 - Variação temporal da vazão

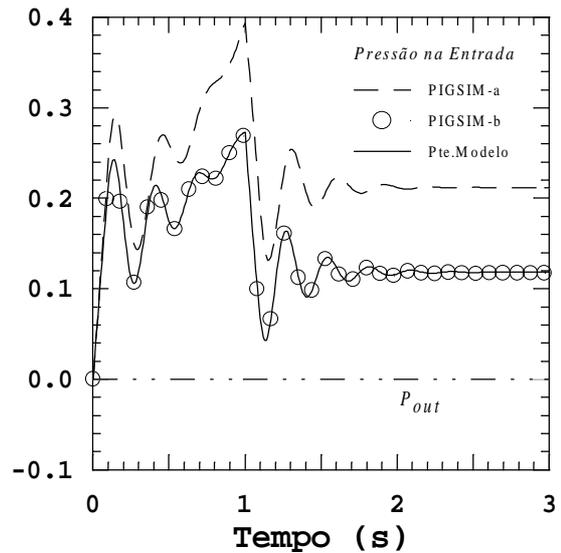


Figura 4 - Variação temporal da pressão

método não conservativo, só consegue apresentar uma solução satisfatória, quando a malha é refinada na região da descontinuidade. Neste caso, os dois métodos apresentam soluções coincidentes.

As Figuras 5 e 6 mostram a variação da vazão e pressão ao longo da coordenada espacial após o regime permanente ter sido atingido. Observa-se que a vazão mássica mantém-se constante e igual a 0,06 kg/s para o método conservativo, enquanto que a pressão apresenta uma variação linear. O método não conservativo apresenta um aumento na vazão em massa na região dos flanges (região de descontinuidade), o que induz a uma queda localizada acentuada na pressão. Nota-se que o *software* PIGSIM apresenta exatamente o mesmo resultado que o presente modelo conservativo, somente quando a malha é refinada próximo a descontinuidade de área.

4.2 Escoamento de um líquido numa tubulação com flanges

Este caso é similar ao caso do item anterior, só que desta vez considera-se água a temperatura constante ($T = 293$ K) escoando na mesma tubulação. O escoamento também é

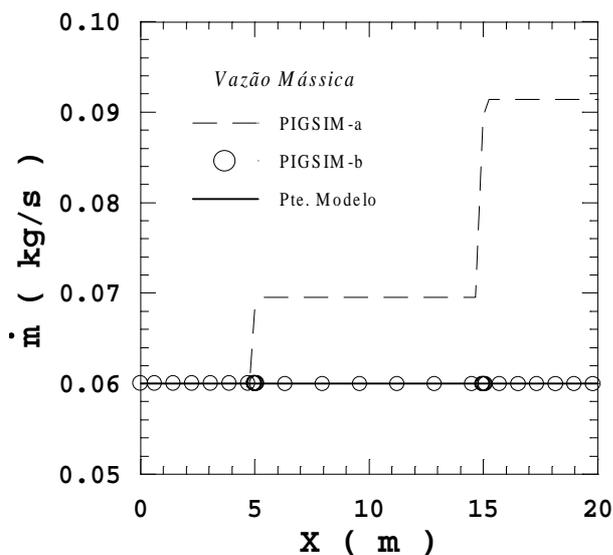


Figura 5 - Variação espacial da vazão

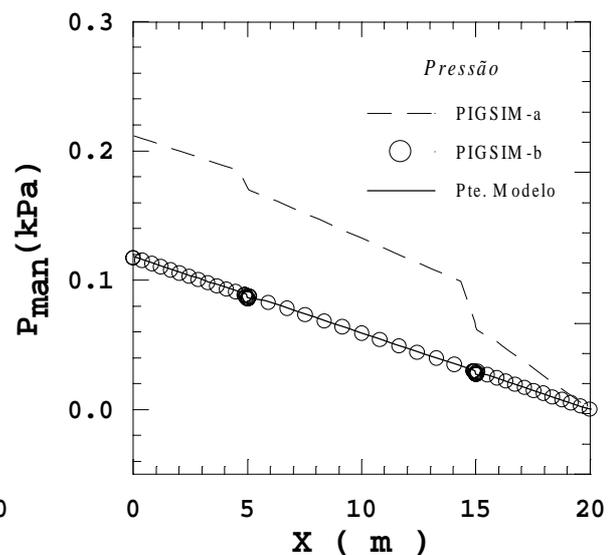


Figura 6 - Variação espacial da pressão

iniciado do repouso, porém a vazão em massa leva 20 segundo para atingir o valor de 20 kg/s.

Utiliza-se as mesmas malhas que o caso anterior.

Considerou-se a massa específica de referência igual a $\rho_{ref}=1000 \text{ kg/m}^3$, velocidade do som $a = 1200 \text{ m/s}$, coeficiente de expansão térmica β nulo. A viscosidade absoluta igual a $\mu_{fl} = 0,001 \text{ kg/(m.s)}$. O fator de atrito foi determinado da mesma forma que o caso anterior.

Os resultados obtidos com o método conservativo foram comparados com os resultados obtidos com o *software* PIGSIM, não conservativo, de uma maneira análoga ao caso anterior.

A variação temporal da vazão em massa na entrada e saída é apresentada na Fig. 7, onde nota-se um comportamento similar ao observado na Fig. 3. A variação temporal da pressão na entrada e saída encontra-se na Fig. 8. Observa-se que a variação da pressão durante o transiente para o líquido é bem diferente da encontrada para um gás, como visto na Fig. 4. Novamente, a formulação não conservativa apresenta um acréscimo de massa na saída em relação a entrada. Esta diferença desaparece quando a malha é refinada próximo as discontinuidades, quando coincide com os resultados da formulação conservativa. A pressão na entrada é superestimada, quando a vazão da saída também é, de forma análoga ao caso do gás.

A distribuição espacial da vazão em massa e da pressão do líquido ao longo da tubulação é muito similar ao representado pelas Figs. 5 e 6 para gás, não sendo apresentado aqui.

Deve-se mencionar, que tanto para a solução deste caso como o anterior, fatores de sub-relaxação foram necessários para estabilizar o método conservativo.

4.3 Escoamento isoentrópico numa tubulação com área variável

Este exemplo consiste em um teste não isotérmico, com variação acentuada da área. Considera-se o escoamento de nitrogênio, em um bocal convergente divergente, sem atrito e adiabático, em regime permanente. Ou seja, investiga-se o desempenho das duas formulações na solução de um escoamento isoentrópico em um duto de área variável. Neste caso a solução exata pode ser facilmente obtida e será utilizada para comparar os dados numéricos.

Para resolver o problema utilizou-se as seguintes propriedades: fator de compressibilidade e constante do gás, $z = 1,04$; $R = 287 \text{ N.m/(kg.K)}$; calor específico do fluido constante, $C_p = 1004 \text{ N.m/ (kg.K)}$. Para comparar com a solução exata, considerou-se a condutividade térmica nula. Como neste exemplo o atrito é nulo, $f=0$, a viscosidade do fluido não influencia a solução.

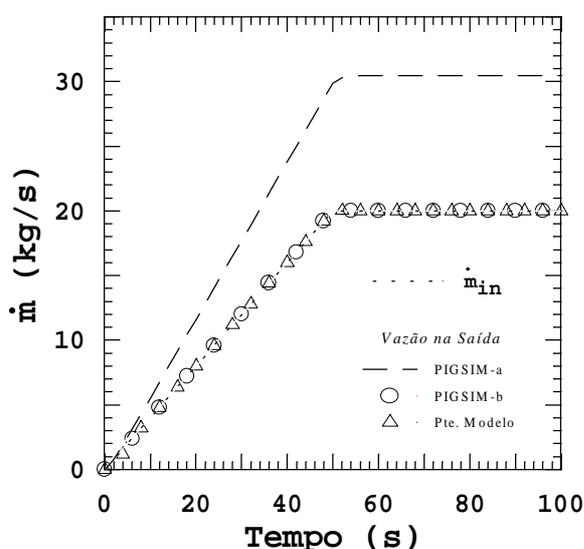


Figura 7 – Variação temporal da vazão mássica

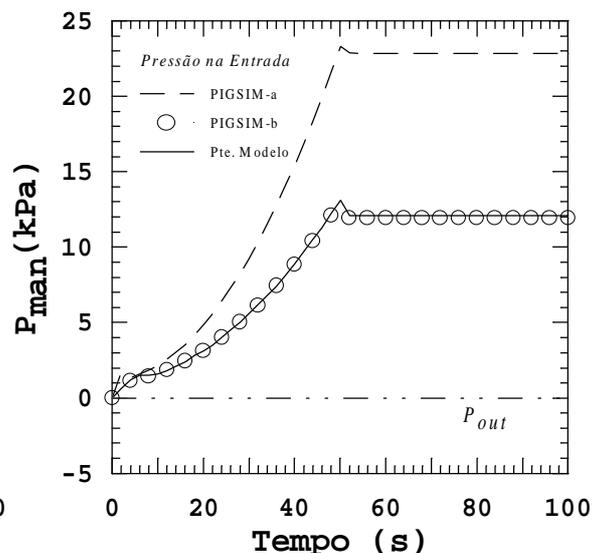


Figura 8 – Variação temporal da pressão

O bocal possui seção transversal circular, sendo que o mesmo é rígido, i. e., independe da pressão (coeficiente de Poisson, $\mu = 0$). A área varia de acordo com a seguinte expressão

$$A = A_g + (A_i - A_g) \left(1 - x/x_g \right)^2 \quad \text{para } 0 \leq x \leq L \quad (11)$$

Os parâmetros da tubulação são:

- ⊙ Comprimento, $L = 6 \text{ mm}$
- ⊙ Comprimento da garganta, $x_g = 3 \text{ mm}$
- ⊙ Área da entrada, $A_i = 200 \text{ mm}^2$
- ⊙ Área da garganta, $A_g = 14,73 \text{ mm}^2$

A Figura 9 apresenta a variação do diâmetro real ao longo do bocal, calculado pela expressão analítica (11), e o diâmetro aproximado com 96 volumes de controle. Observa-se que o perfil discreto é uma boa aproximação do perfil real.

Para a solução do problema considerou-se as seguintes condições de contorno: na entrada especificou-se vazão de 0,059 kg/s e temperatura constante igual a 1000 K, correspondentes a escoamento subsônico. Na saída a pressão foi mantida a 7,98 MPa.

Os resultados obtidos para a variação ao longo do bocal da pressão, temperatura, Mach e vazão em massa encontram ilustrados na Fig. 10.

Analisando-se as Figs. 10a, 10b e 10c observa-se que os resultados obtidos pelo método não conservativo (*software* PIGSIM) apresentam excelente concordância com a solução exata próximo a entrada e saída do bocal, afastando-se um pouco do valor exato na garganta. No entanto, ao examinarmos a Fig. 10d, observa-se que a vazão em massa não se conserva ao longo do bocal. Por outro lado, ao analisarmos os resultados obtidos com o presente modelo, o qual é baseado na formulação conservativa, observa-se pela Fig. 10d que a massa sempre se conserva. Porém, os valores de pressão na entrada são superestimados, enquanto os valores de temperatura na saída são subestimados. Já os valores para o número de Mach, Fig. 10c, apresentam boa concordância na entrada e saída, mas subestimam o seu valor na garganta.

5. CONCLUSÕES

O escoamento transiente de fluidos compressíveis em tubulações com variação de área foi obtido utilizando uma formulação conservativa e não conservativa. Ambas as formulações foram validadas, comparando-se com resultados disponíveis na literatura e com soluções analíticas, quando existente, apresentando bons resultados.

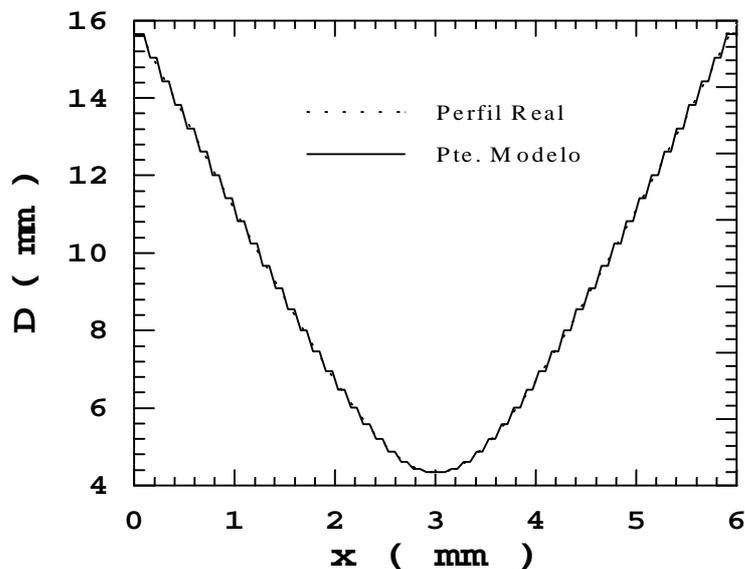


Figura 9 - Variação do Diâmetro no bocal Convergente-Divergente

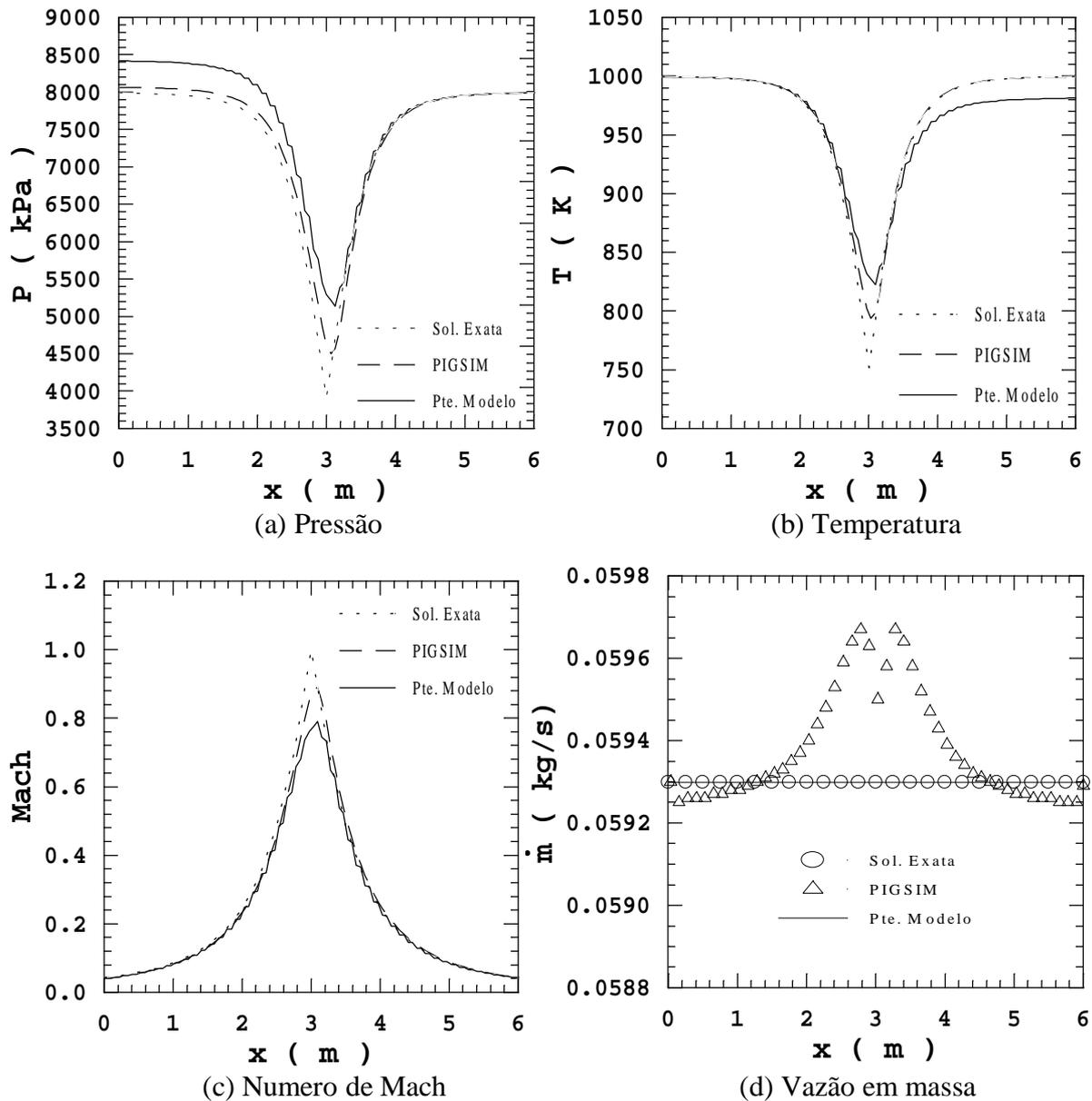


Figura 10 – Problema Isoentrópico. Variação espacial.

O método conservativo apresentou soluções que sempre satisfazem perfeitamente o balanço de massa. Já o método não conservativo só apresenta solução que satisfaz o balanço de massa se uma malha suficientemente fina for utilizada

O método não conservativo apresentou melhor solução para pressão e temperatura que o método conservativo para o caso do escoamento isoentrópico no bocal convergente-divergente. Porém, não apresentou massa constante ao longo da tubulação. Devemos portanto ressaltar que em situações em que o balanço de massa perfeito é fundamental como é o caso para detecção de vazamentos em tubulações, o método conservativo é recomendado.

Finalmente, podemos comentar que dado o forte acoplamento entre a equação de estado e a equação de continuidade do método não conservativo, este algoritmo mostrou-se mais estável que o algoritmo utilizado para solução do método conservativo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio recebido durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Fox, R.W. & McDonald, A. T., 1995, Introdução a Mecânica dos Fluidos. Editora Guanabara S.A., 4ª. Edição.
- Heiser, W.H., McClure, W.B. & Wood, C.W., 1995, Simulating Heat Addition via Mass Addition in Variable Area Compressible Flows, AIAA Journal, Vol. 34, No 5, pp. 1076-1079.
- Karimian, S.M.H. & Schneider, 1994, Application of a Control-Volume-Based Finite-Element Formulation to the Shock Tube Problem, AIAA Journal, Vol. 33, N° 1, pp. 165-167.
- Kats, I.M. & Shaughnessy, E.D., 1990, The Equations of 1-D Compressible Flow with Area Change in a Lagrangian Particle, Computers & Fluids, Vol. 18, No. 2, pp. 183-190.
- Liou, J.C.P., 1983, A Numerical Model for Transients in Petroleum Products Pipelines, Symposium on Advances in Application of Numerical methods for Fluid Transients Analysis, Joint ASME Conference, Houston, Texas, USA, pp. 61-66.
- Mendes, P.R.S. & Braga, S.L., 1996, Obstruction of Pipelines During the Flow of Waxy Crude Oils, Transactions of the ASME, Vol. 118, pp. 722-728.
- Nieckele, A.O., Braga, A. M. B., Pinto, D. F. C., Azevedo, L. F. A., 1998, PIGSIM, Pipeline Pig Simulation Versão 1.1, PUC-RJ, Brasil.
- Olorunmaiye, J.A., 1994, Computation of Natural Gas Pipeline Transients, Including Frictional and Heat Transfer Effects, 8º Simpósio Brasileiro sobre Tubulações e Vasos de Pressão, pp. 742-751.
- Patankar, S.V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corporation, Washington, U.S.A.
- Romero, O. J., 1999, Um Método Conservativo para Análise de Transientes de Gases/Líquidos em Tubulações, Dissertação de Mestrado, PUC-RJ, Brasil.
- Waley, R.s. & Ellul, I.R., Consideration in Choosing a leak Detection Method, PD-vol 60, Pipeline Engineering, ASME, pp. 39-44.
- Wylie, E. B. & Streeter, V.L., 1978, Fluid Transients, McGraw-Hill.

STUDY OF THE TRANSIENT REGIMES OF COMPRESSIBLE FLOWS IN PIPELINES WITH AREA CHANGE

O. J. Romero

oldrich@mec.puc-rio.br

A. O. Nieckele

nieckele@mec.puc-rio.br

Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica – PUC/Rio

R. Marquês de São Vicente 225- Gávea, 22453-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Abstract. *Simulation of the flow field of compressible liquid and gas through pipelines with variable area is presented. The differential mass, linear momentum and energy equations were numerically solved by two different finite difference numerical schemes, for compressible flow through pipelines. Conservative and non-conservative schemes were employed. The algorithm was validated with available literature results. It is shown that a perfect mass balance is obtained with the conservative method. Therefore, this method is more reliable when the mass balance must be obtained within machine accuracy, as is the case for leak detection situations. On the hand, since the non-conservative method presents a stronger coupling between the equation of state and the continuity equation, the algorithm is more stable.*

Key-words: *compressible flow, variable area, transient, conservative, non conservative.*