

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor, professor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFMG e bolsista da CAPES na França, agradece a estas duas instituições o apoio recebido durante o desenvolvimento do seu doutorado no INSA de Lyon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burmeister, L. C. (1983) - "Convective heat transfer", 790 pag., John Wiley & Sons, New York.
- Cousteix, J. (1989) - "Turbulence et Couche Limite", 627 pag., Cepadues-Editions, Toulouse.
- Georgiou, D. P., Louis, J. F. (1984) - "The Transpired Turbulent Boundary Layer in Various Pressure Gradients and the Blow-off Condition", ASME Paper N° 84-WA/HT-71, 8 pag.
- Gosman, A. D., Ideriah, F. J. K., Arnal M.P. (1983) - "Teach-2E : A General Computer Program for Two-Dimensional, Turbulent, Recirculating Flows", Department of Mechanical Engineering of the University of California, Report N° FM-83-2, 106 pag.
- Ilegbusi, O. J. (1989) - "Turbulent Boundary Layer on a Porous Plate with Severe Injection at Various Angles to the Surface", Int. Journal Heat Mass Transfer, Vol. 32, N° 4, pag. 761-765.
- Jeromin, L. O. F. (1970) - "The Status of Research in Turbulent Boundary Layers with Fluid Injection", Progress in Aeronautical Sciences, Vol. 10, pag. 65-189.
- Launder, B. E., Spalding, D. B. (1974) - "The Numerical Computation of Turbulent Flows", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, N° 2, pag. 269-289.
- Launder, B. E., Reynolds, W. C., Rodi, W., Mathieu, J., Jeandel, D. (1984) - "Turbulence and Their Applications", 423 pag., Ed. Eyrolles, Paris.
- Marvin, J. G., Sheaffer, Y. S. (1969) - "A Method for Solving the Nonsimilar Laminar Boundary-layer Equations Including Foreign Gas Injection. NASA Rapport n° A-3354, 29 pag.
- Moffat, R. J., Kays, W. M. (1984) - "A Review of Turbulent Boundary Layer Heat Transfer Research at Stanford, 1958-1983", Advances in Heat Transfer, Vol. 16, pag. 241-345.
- Patankar, S. V. (1980) - "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", 197 pag., Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Pratap, V. S., Spalding, D. B. (1976) - "Fluid Flow and Heat Transfer in Three-Dimensional Duct Flows", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 19, pag. 1183-1188.
- Puzach, V. G. (1992) - "Heat and Mass Transfer on a Rough Surface with Gas Blowing at the Wall", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 35, N° 4, pag. 981-985.
- Shcherbenko, I. V. (1988) - "Calculation for Coefficients of Heat and Mass Transfer in Injection of a Gas into a Turbulent Boundary Layer of a Different Gas", Heat Transfer - Soviet Research, Vol. 20, N° 1, pag. 31-39.
- Silva-Freire, A. P., Medeiros, M. A. F. (1991) "The Transfer of Heat in Turbulent Boundary Layers with Injection or Suction : Universal Laws and Stanton Number Equations", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 35, N° 4, pag. 991-995.
- Yeroshenko, V. M., Zaychik, L. I., Klimov, A. A., Kondrat'yev, V. I., Yanovskiy, L. S. (1981) - "Turbulent Boundary Layers on a Permeable Wall with Vecteded Injection of Similar or Dissimilar Gases at Different Angles to the Surface", Heat Transfer - Soviet Research, Vol. 13, N° 5, pag. 13-24.
- White, F. M. (1991) - "Viscous fluid flow", 614 pag., McGraw-Hill, Singapore.

ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DE UM ESCOAMENTO PULSANTE LAMINAR ATRAVÉS DE UMA PLACA DE ORIFÍCIO

Ramon Molina VALLE
Depto. de Engenharia mecânica da U.F.M.G.
Clovis Raimundo MALISKA
Depto. de Engenharia Mecânica da U.F.S.C.

SUMÁRIO

Um escoamento a baixo número de Reynolds, através de uma placa de orifício concêntrico, é analisado em regime transiente. Uma flutuação de vazão em torno de um escoamento médio é produzida experimentalmente pelo movimento harmônico de um embolo. A variação de pressão experimental no orifício é obtida através de transdutores de pressão diferencial acoplados a um sistema de aquisição dinâmica de dados. A variação de pressão numérica é obtida através da solução das equações de Navier Stokes. Para a obtenção dos resultados numéricos, a técnica dos volumes finitos em coordenadas generalizadas é utilizada. Testes para várias frequências e vazões médias são realizados. Aproximações muito boas dos resultados numéricos com os valores experimentais validam totalmente a metodologia numérica.

1. INTRODUÇÃO

Escoamentos pulsantes são encontrados em muitas aplicações da engenharia, principalmente em sistemas hidráulicos. A necessidade de medição de vazões transientes para determinação de características dinâmicas de servomecanismos nestes sistemas, ligado à utilização de medidores mais simples e de menor custo, levaram inicialmente à realização do presente trabalho.

Na tentativa de se aproximar mais das condições reais do escoamento, o modelo numérico envolve também os efeitos de compressibilidade do sistema e a perfeita reprodução da geometria do orifício. A utilização de malhas generalizadas, geradas por equações elípticas, reproduz a geometria do orifício sem a necessidade de interpolações e independentemente da geometria assumida. Desta forma, o programa computacional desenvolvido permite analisar o escoamento de qualquer sistema de medição de vazão do tipo pressão diferencial (bocais de fluxo, venturis e placas de orifício), utilizando-se qualquer tipo de fluido (gases ou líquidos), bastando para isto apenas entrar com as propriedades do fluido a ser utilizado e a geometria da restrição.

O problema transiente em processos hidrodinâmicos tem sido tratado por vários autores, fornecendo informações cada vez mais precisas a medida que as técnicas computacionais tem-se desenvolvido. Os trabalhos realizados por Trengrouse [1], Yokota e Nakano [2], e Pedroso [3], merecem especial atenção.

2. METODOLOGIA NUMÉRICA

As Fig. 2.1 representa esquematicamente a geometria geral do problema físico a ser resolvido numericamente, com os principais parâmetros geométricos que influenciam o escoamento.



Fig. 2.1 - Domínio de solução utilizado na metodologia numérica.

2.1 Geração da malha

Basicamente a solução numérica das equações de transporte utilizando coordenadas generalizadas envolve dois algoritmos principais; um para a geração do sistema de coordenadas (geração da malha) e outro para a solução do problema físico propriamente dito. Estes algoritmos podem ser completamente independentes um do outro.

O desenvolvimento dos sistemas não ortogonais para geração de coordenadas é devido principalmente a Thompson et alii [4] e [5]. Eles utilizam duas equações do tipo Poisson com condições de contorno tipo Dirichlet para a geração do sistema coordenado.

A tarefa de obtenção do novo sistema coordenado, (ξ, η) , a partir do sistema coordenado cilíndrico conhecido, (x, r) , consiste em determinar as transformações $\xi = \xi(x, r)$ e $\eta = \eta(x, r)$.

O processo de geração de malha através de um sistema de equações elípticas envolve a solução do seguinte sistema:

$$\nabla^2 \xi = P(\xi, \eta) \quad (2.1)$$

$$\nabla^2 \eta = Q(\xi, \eta) \quad (2.2)$$

onde $P(\xi, \eta)$ e $Q(\xi, \eta)$ são funções de controle que regulam a densidade de linhas e pontos coordenados (ξ, η) , conforme desejado para determinadas regimes do domínio.

Do Jacobiano da transformação $x = x(\xi, \eta)$ e $y = y(\xi, \eta)$ e depois de algumas manipulações algébricas, obtém-se as equações de geração da malha.

$$\alpha x_{\xi\xi} - 2\beta x_{\xi\eta} + \gamma x_{\eta\eta} + (J^{-1})^2 (P x_{\xi} + Q x_{\eta}) = 0 \quad (2.3)$$

$$\alpha r_{\xi\xi} - 2\beta r_{\xi\eta} + \gamma r_{\eta\eta} + (J^{-1})^2 (P r_{\xi} + Q r_{\eta}) = 0 \quad (2.4)$$

onde os sub-índices ξ e η indicam as primeiras e segundas derivadas e os coeficientes de acoplamento entre as equações são as componentes do tensor métrico, dados por

$$\alpha = r_{\eta}^2 + x_{\eta}^2 \quad (2.5)$$

$$\gamma = x_{\xi}^2 + r_{\xi}^2 \quad (2.6)$$

$$\beta = x_{\xi} x_{\eta} + r_{\xi} r_{\eta} \quad (2.7)$$

O conjunto de Eqs. (2.3) e (2.4) é resolvido numericamente em um processo iterativo.

Após a final deste processo, todas as coordenadas (x, r) , bem como as derivadas x_{ξ} , x_{η} , r_{ξ} e r_{η} , os coeficientes α , β , γ e o Jacobiano J de cada interseção (ξ, η) e de cada posição de armazenamento de velocidades e pressões são conhecidas. O raio, r , é dado pelas interseções das linhas ξ e η .

A malha utilizada, obtida pela metodologia descrita, é mostrada na Fig. 2.2

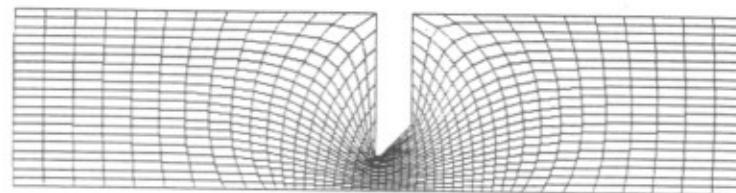


Fig. 2.2 - Malha 220 x 20 utilizada para a placa

Detalhes da obtenção das equações de geração da malha são encontrados em Maliska [6] e Valle [7]

2.2 Equações Governantes e Condições de Contorno

As equações governantes descritas em coordenadas cilíndricas ou cartesianas podem ser englobadas em apenas uma equação geral, envolvendo uma propriedade geral, ϕ , da forma

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u\phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r\rho v\phi) = \frac{\partial}{\partial x}[\Gamma^* \frac{\partial \phi}{\partial x}] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}[r\Gamma^* \frac{\partial \phi}{\partial r}] + S^* \quad (2.8)$$

As expressões do termo fonte, S^* , e da difusividade, Γ^* , são definidas por Valle [7].

Aplicando-se a transformação geral $\xi = \xi(x, r)$ e $\eta = \eta(x, r)$ à equação genérica em coordenadas cilíndricas, Eq. (2.8), obtém-se a equação geral para um sistema curvilíneo generalizado.

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \xi} (r \rho U \phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \eta} (r \rho V \phi) =$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \xi} \left[(\alpha r J \Gamma^{\circ}) \frac{\partial \phi}{\partial \xi} - (\beta r J \Gamma^{\circ}) \frac{\partial \phi}{\partial \eta} \right] + \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \eta} \left[(\gamma r J \Gamma^{\circ}) \frac{\partial \phi}{\partial \eta} - (\beta r J \Gamma^{\circ}) \frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right] - \frac{P^{\circ}}{J} + \frac{S^{\circ}}{J}$$

onde as velocidades contravariantes, U e V, são dadas por

$$U = r_{\eta} u - x_{\eta} v \quad (2.10)$$

$$V = x_{\xi} v - r_{\xi} u \quad (2.11)$$

As expressões para os termos fontes e difusividades são dados por Valle [7]

Detalhes da transformação da equação geral e dos termos fontes são encontrados em Maliska [6] e Valle [7].

Para a obtenção das equações aproximadas, adota-se uma formulação implícita, onde todos os termos são avaliados no instante $t+\Delta t$ com derivadas para trás para avaliar a derivada temporal. Desta forma, a integração da Eq. (2.9) para um perímetro $2\pi r$ sobre o volume elementar resulta

$$\frac{(M_p \phi_p)^{n+1} - (M_p \phi_p)^n}{\Delta t} + M_e \phi_e - M_w \phi_w + M_n \phi_n - M_s \phi_s =$$

$$[D_1 \frac{\partial \phi}{\partial \eta} + D_2 \frac{\partial \phi}{\partial \xi}]_e - [D_1 \frac{\partial \phi}{\partial \xi} + D_2 \frac{\partial \phi}{\partial \eta}]_w + [D_3 \frac{\partial \phi}{\partial \eta} + D_4 \frac{\partial \phi}{\partial \xi}]_n \quad (2.12)$$

$$[D_3 \frac{\partial \phi}{\partial \eta} + D_4 \frac{\partial \phi}{\partial \xi}]_s + \frac{S^{\circ}}{\Delta t} - \frac{P^{\circ}}{\Delta t}$$

Para a obtenção das equações aproximadas dos termos fontes utiliza-se a mesma metodologia empregada na equação geral.

A transformação da equação geral e dos termos fonte pode ser vista em Maliska [6] e Valle [7].

Por se tratar de vazões dinâmicas, far-se-á uso da formulação compressível-incompressível, da forma descrita por Silva [8] e Silva e Maliska [9]. O método SIMPLEC é usado para o tratamento do acoplamento pressão-velocidade.

As condições de contorno do problema são de velocidade prescrita na entrada e nula nas paredes. Na fronteira de saída considera-se o escoamento localmente parabólico e condições de contorno de derivada nula na fronteira de simetria.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia experimental desenvolvida tem a finalidade de corroborar os resultados obtidos a partir da metodologia numérica.

A Fig. 3.1 mostra o esquema geral do sistema dinâmico utilizado. Aqui, a flutuação de vazão é produzida pelo movimento harmônico de um pistão, acionado por um motor elétrico com frequência angular controlada. O movimento harmônico do pistão é obtido através de um mecanismo tipo garfo escocês (Scotch Youke), o qual gera ondas senoidais de vazão em torno do escoamento médio Q_c .

A vazão média, Q_c , é gerada por uma bomba tipo palhetas e medida através do sistema de medição de vazão constante. Devido

ao efeito elíptico da flutuação de pressão, um gerador de perda de carga foi colocado para impedir que a flutuação se propague na direção vertical.

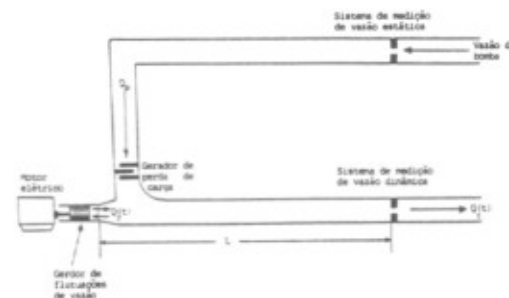


Fig. 3.1 - Esquema geral do sistema dinâmico utilizado na bancada experimental.

Para a obtenção dos dados experimentais utiliza-se uma série de sistemas de medição e uma ampla cadeia de processamento de sinais. A cadeia de medição utilizada é mostrada na Fig. 3.2.

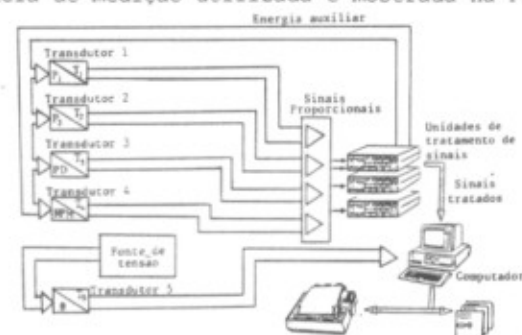


Fig. 3.2 - Cadeia de processamento dos sinais.

A vazão total medida no sistema de medição de vazão dinâmica é dada por

$$Q_c(t) = A_0 k [\Delta P(t)]^b \quad (3.1)$$

onde

A_0 = área da seção do orifício (m²)

k = constante obtida da calibração da placa

b = constante obtida da calibração da placa

$\Delta P(t)$ = gradiente de pressão dinâmica medido no orifício (Pa)

A razão de amplitude entre a vazão medida experimentalmente na placa e a obtida teoricamente (ganho), em cada instante de tempo, é dada por

$$Ra = \frac{Q_c(t)}{Q_0 + Q_p(t) - Q_z(t)} \quad (3.2)$$

onde

$Q_p(t)$ = flutuação de vazão sem amortecimento (m³/s)
 $Q_z(t)$ = vazamento através da folga pistão-cilindro (m³/s)

A utilização de um mecanismo do tipo garfo escocês (scotch youke) para acionamento do mecanismo pistão cilindro, garante a geração do movimento senoidal do pistão. Com este mecanismo, o pistão desloca-se segundo

$$x(t) = r[1 - \cos wt] \quad (3.3)$$

com velocidade

$$\dot{x}(t) = rwsen wt \quad (3.4)$$

e vazão

$$Q_p(t) = A_c rwsen wt \quad (3.5)$$

onde

A_c = área da seção do cilindro do gerador de pulsos (m²)
 r = raio do excêntrico da manivela (m)
 w = frequência angular (rad/s)
 wt = ângulo da manivela (rad)

A vazão instantânea através da folga pistão/cilindro, $Q_z(t)$, é dada por Valle [7]

$$Q_z(t) = \bar{V}_z \pi R^2 (1 - k^2) \quad (3.6)$$

onde

\bar{V}_z = velocidade média instantânea do vazamento (m/s)
 R = raio do cilindro (m)
 k = relação entre o raio do pistão e o raio do cilindro

A defasagem entre a flutuação medida na placa e a produzida pelo pistão é obtida experimentalmente por

$$\Theta = -2\pi f \Delta t \quad (3.7)$$

onde

f = frequência cíclica medida pela rotação do motor de acionamento (1/s)
 Δt = intervalo de tempo correspondente à defasagem entre as vazões (s)

Acrescentando a vazão que vaza através da folga pistão-cilindro, $Q_z(t)$, a equação de calibração dinâmica fica

$$Q_c(t) = A_0 k [\Delta P(t)]^b = Q_0 + A_c R a rwsen(wt - \Theta) - Q_z(t) \quad (3.8)$$

onde

Ra = razão de amortecimento da flutuação de vazão
 Θ = ângulo de defasagem da flutuação de vazão (rad)

Os parâmetros Ra e Θ caracterizam a dissipação da flutuação de vazão e representam o comportamento dinâmico do sistema. Estes parâmetros são determinados experimentalmente através das Eqs. 3.2 e 3.7, respectivamente.

4. RESULTADOS

Utilizando-se as vazões experimentais como dados de entrada do programa computacional, obtêm-se os gradientes de pressão numéricos, através da solução das equações de Navier Stokes. Com as vazões obtidas a partir destes gradientes, determinam-se os demais parâmetros dinâmicos do sistema de medição de vazão, tais como a relação de amplitude dos sinais (ganho) e coeficientes de vazão.

O ganho instantâneo, obtido pelas 2 metodologias, é mostrado na Fig. 4.1 para uma das frequências de trabalho. Aqui, o sinal de saída representa a vazão obtida pela Eq. 3.8, enquanto que o sinal de entrada representa a vazão deslocada pelo pistão do gerador de pulsos, dada pela Eq. 3.5. O ganho instantâneo é simplesmente a relação instantânea entre o sinal de saída e o sinal de entrada obtido em cada metodologia. O valor do ganho igual a 1 significa o pistão na posição de velocidade nula (pontos mortos). Valores do ganho menores que 1 representam deslocamentos positivos do pistão (compressão), enquanto que valores maiores que a unidade representam deslocamentos negativos do mesmo (descompressão). Os mínimos e máximos representam os pontos de velocidade máxima do pistão.

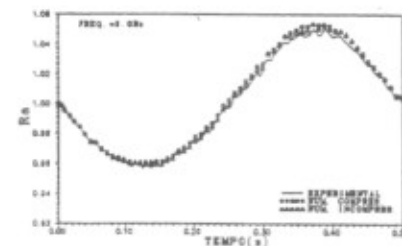


Fig. 4.1 - Razão de amplitude entre o sinal de saída e o sinal de entrada para uma frequência de 2 Hz.

A Fig. 4.2 mostra os respectivos gradientes de pressão utilizados para o cálculo das vazões dinâmicas. Esta Fig. indica que os valores obtidos com o modelo numérico incompressível aproximam-se melhor dos resultados experimentais para esta frequência. Ao mesmo tempo, nota-se que para a mesma frequência, o maior afastamento entre os valores numéricos e experimentais ocorre para as velocidades negativas do pistão, principalmente no ponto de velocidade máxima.

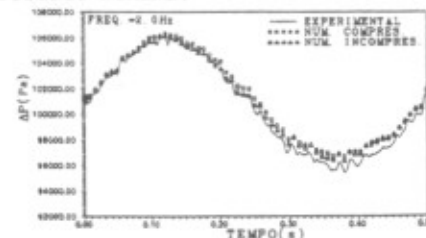


Fig. 4.2 - Gradientes de pressão na placa-frequência 2.0 Hz.

Para a mesma frequência de trabalho, a Fig. 4.3 mostra o comportamento do coeficiente de vazão dinâmica. Esta Fig. mostra que os coeficientes de vazão experimentais são reproduzidos pela metodologia numérica incompressível, apresentando um pequeno afastamento apenas para velocidades negativas do pistão, principalmente nas proximidades dos pontos de velocidade máxima. Por outro lado, os coeficientes de vazão obtidos para o escoamento compressível são sempre maiores do que os valores experimentais e, conseqüentemente, maiores que os valores obtidos pelo programa incompressível. Isto é facilmente explicado pelo fato dos coeficientes de vazão terem sido calculados a partir da equação de Bernoulli. A equação de Bernoulli é desenvolvida admitindo-se a incompressibilidade do escoamento, o que permite simplificar as equações e obter facilmente os coeficientes de vazão como função dos gradientes de pressão e das dimensões do orifício.

Para o escoamento compressível deve-se introduzir um coeficiente que leve em conta a compressibilidade do sistema. Na prática, para se encontrar este coeficiente é necessário recorrer à equação da energia. O desenvolvimento completo para a obtenção dos coeficientes de expansão isentrópicos para escoamentos compressíveis pode ser visto em Delmee [10]. No presente trabalho estes valores podem ser obtidos diretamente através da relação dos coeficientes de vazão.

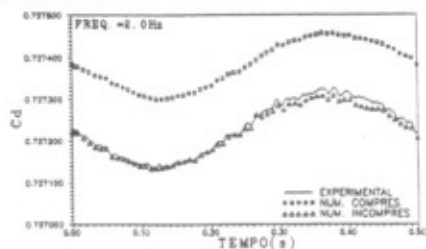


Fig. 4.3 - Coeficientes dinâmicos de vazão- frequência 2.0 Hz.

A dificuldade de convergência do modelo numérico incompressível com o aumento da frequência, ligado ao fato da diferença obtida nos coeficientes de vazão quando comparadas as metodologias compressível-incompressível, torna evidente que, o escoamento dinâmico produzido a baixas frequências é ainda incompressível. No entanto a medida que as frequências aumentam, este escoamento torna-se compressível, sendo esta compressibilidade a responsável pela discrepância nos coeficientes de vazão.

As Figs. 4.4 e 4.5 mostram o amortecimento da flutuação de vazão obtido nas duas metodologias utilizadas. Note-se que praticamente não há diferença entre as vazões numéricas e as experimentais, mesmo que o pulso de vazão experimental tenda a se deformar com o aumento da frequência, devido aos efeitos das vibrações do sistema. Aqui a vazão teórica refere-se ao sinal de entrada do sistema, ou seja, à vazão deslocada pelo pistão do gerador de pulsos de vazão, dada pela Eq. 3.5. Por outro lado, as demais vazões, com exceção da vazão média, refere-se ao sinal de saída, calculado pelas duas metodologias.

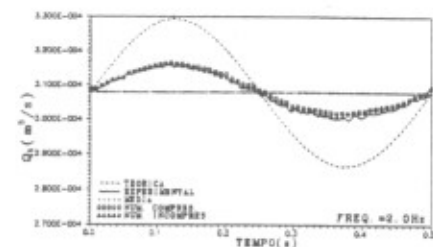


Fig. 4.4 - Flutuação de vazão gerada para uma frequência de 2.0 Hz.

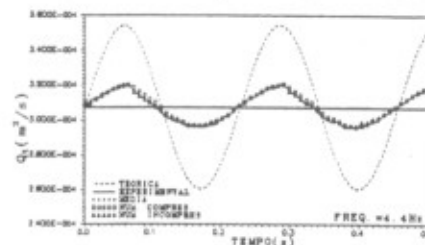


Fig. 4.5 - Flutuação de vazão gerada para uma frequência de 4.4 Hz.

Os resultados apresentados no presente trabalho mostram que a metodologia numérica é capaz de reproduzir todos os parâmetros característicos de um sistema de medição de vazão dinâmica.

5. CONCLUSÕES

Pode-se afirmar que de um modo geral a metodologia numérica reproduz adequadamente os resultados experimentais, dentro da incerteza de medição obtida na metodologia experimental.

Na obtenção dos resultados numéricos para o regime transiente, observa-se que a metodologia incompressível aproximou-se melhor dos resultados experimentais para frequências de pulsação mais baixas. No entanto, a medida que as frequências aumentam, a convergência do programa torna-se cada vez mais difícil, para a mesma malha e intervalos de tempo utilizados. Por outro lado, a metodologia compressível é sempre mais estável em termos de convergência, embora os resultados mostram discrepâncias um pouco maiores, mas sempre dentro da incerteza de medição obtida experimentalmente (Valle [7]).

Como mostram os resultados, mesmo que o óleo seja considerado um fluido incompressível do ponto de vista da mecânica dos fluidos, os escoamentos dinâmicos do mesmo devem ser considerados como escoamentos compressíveis. Desta forma, a utilização de medidores de vazão do tipo pressão diferencial em sistemas hidráulicos, deve sempre considerar a compressibilidade do sistema. (Valle [7]).

Para a faixa de frequências mostrada, a fase é muito pequena comparada com o ganho obtido no sistema. A partir de frequências mais elevadas (acima de 7 Hz), a fase começa a crescer mais acentuadamente até atingir valores próximos de $\pi/2$. Ver Valle [10].

O pulso é praticamente amortecido quando se atingem frequências perto dos 14.0 Hz. Nestas condições, o ganho tende a

zero enquanto que a fase tende a $\Pi/2$. (Valle [7]).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TRENGROUSE, G.H., IMRIE, B.W., MALE, D.H., Comparison of Unsteady Flow Discharge Coefficients for Sharp-Edged Orificies With Steady Flow Values. Journal of Mechanical Engineering Science. V.8, N.3, 1966.
- [2] YOKOTA, S. and NAKANO, K., On Extending the Intelligent Potential of a Cylindrical Choke Type Instantaneous Flowmeter, 2nd International Conference on Flow Measurement, paper A3, London, 1988.
- [3] PEDROSO, J. L., Estudo Experimental da Atenuação de Ondas Orientado aos Transitórios Ocasionados pela Reação Explosiva Sódio-Água em Reatores Rápidos, 6- Simpósio Brasileiro sobre Tubulações e Vasos de Pressão, trabalho n°18, pp. 303-321, Rio de Janeiro, 1990.
- [4] THOMSON, J.F., WASSI, Z.A., MASTIN, C.W., Numerical Grid generation - Foundations and Applications. 1985 (Elsevier Science Publishing Co. Inc.).
- [5] THOMSON, J. F., Grid Generations Techniques in Computational Fluid dynamics, A.I.A.A. Journal, V.22, N.11, pp.1505-1523, 1984.
- [6] MALISKA, C.R., Transferência de Calor e Mecânica dos Flúidos Computacional em Coordenadas Generalizadas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- [7] VALLE, R.M., Análise Numérica e Experimental de Escoamentos transientes em placas de orifício. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.
- [8] SILVA, A. F. C., Um Procedimento em Volumes Finitos para Solução de Escoamentos de Qualquer Velocidade, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1991.
- [9] SILVA, A.F.C. e Maliska, C.R., Uma Formulação Segregada em Volumes Finitos para Escoamentos Compressíveis e/ou Incompressíveis em Coordenadas Generalizadas, I Encontro Nacional de Ciências Térmicas, Águas de Lindóia, 1988.
- [10] DELMÉE, G.J., Manual de Medição de Vazão, Edgard Blücher Ltda, 1983.

Summary

The present paper analysis numerically and experimentally the laminar pulsating flow of oil in a circular tube with an orifice meter where a senoidal pulse is generated in the entrance. The numerical model solves the Navier Stokes equatios in order to get the pressure gradients at the orifice meter. the pulse is generated in the experimental apparatus through a piston device driven by an electric motor with controlled angular velocity. Comparisons between numerical and experimental results are realized for several flow conditions.