

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESCOAMENTO COMPRESSÍVEL PULSANTE EM TUBULAÇÕES

E. L. L. Pereira e C. J. Deschamps

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina,
CEP: 88040-900, Florianópolis, SC.

Palavras Chave: escoamento compressível, escoamento pulsante.

RESUMO

É muito freqüente em projetos de engenharia um levantamento prévio da distribuição de pressão e da vazão em escoamentos dentro de tubulações (como em oleodutos, gasodutos, tubulações de caldeiras à vapor) a partir de condições de operação conhecidas. O trabalho aqui apresentado teve o intuito de obter os campos de velocidade, pressão, massa específica e temperatura ao longo de tubulações de seção reta constante através de uma análise numérica computacional.

As equações governantes do problema são aquelas relativas a: conservação da massa, conservação da quantidade de movimento e conservação da energia para escoamentos unidimensionais compressíveis transientes, além da equação de estado para gases ideais.

O Método dos Volumes Finitos foi empregado para resolver as equações governantes, adotando-se um arranjo de malha uniforme desencontrada como mostrado na Figura 1.

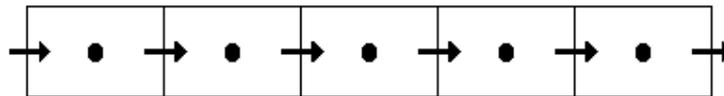


Figura 1: Malha uniforme desencontrada

O acoplamento pressão-velocidade-densidade foi realizado através do método SIMPLEC e como esquema de interpolação empregou-se o UPWIND. O fator de atrito para o cálculo da tensão cisalhante na parede é obtido em função do número de Reynolds, sendo para escoamento laminar através da relação de Darcy e para escoamento turbulento através da relação empírica de Blasius. A determinação do número de Nusselt para a obtenção do coeficiente de transferências de calor por convecção entre o fluido e a parede interna do duto é feita através da equação de Colburn. Para resolver o sistema linear de equações utiliza-se o algoritmo TDMA. Detalhes sobre a metodologia numérica podem ser encontrados em Maliska (1995).

A fim de validar o código CFD desenvolvido foram realizadas comparações entre os resultados numéricos e analíticos para diversos problemas descritos na literatura. Os resultados obtidos para um escoamento compressível isotérmico com Δp fixo em regime permanente podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação de resultados analítico e numérico (fator de atrito $f = 0,008$; fluido: metano; $L = 684$ m; $D = 0,08$ m; $p_E = 1.E3$ kPa; $p_S = 263$ kPa; $T_E = T_S = 293,15$ K).

ρ_{entrada} (kg/m ³)	V_{entrada} (m/s)	$\rho_{\text{saída}}$ (kg/m ³)	$V_{\text{saída}} / V_{\text{entrada}}$
---	------------------------------	---	---

<i>Analítico</i>	6,585	44,59	1,732	3,8
<i>Numérico</i>	6,585	45,23	1,733	3,6

Outras comparações entre resultados analíticos e numéricos para escoamentos compressíveis com Δp 's fixos em regime permanente podem ser vistas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: Comparação de resultados analítico e numérico (adiabático; fator de atrito $f = 0,02$; fluido: ar; $L = 50$ m; $D = 0,3$ m; $p_E = 306$ kPa; $p_S = 150$ kPa; $T_E = 312,8$ K).

	$\rho_{\text{entrada}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$V_{\text{entrada}} \text{ (m/s)}$	$\rho_{\text{saída}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$V_{\text{saída}} \text{ (m/s)}$	$T_{\text{saída}} \text{ (K)}$
<i>Analítico</i>	3,409	123,01	1,784	235,80	293,00
<i>Numérico</i>	3,409	124,60	1,788	234,30	292,25

Tabela 3: Comparação de resultados analítico e numérico (invíscido; fluxo de calor prescrito total = 2516 kW; fluido: ar; $L = 50$ m; $D = 0,178$ m; $p_E = 140$ kPa; $p_S = 70$ kPa; $T_E = 330$ K).

	$\rho_{\text{entrada}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$V_{\text{entrada}} \text{ (m/s)}$	$\rho_{\text{saída}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$V_{\text{saída}} \text{ (m/s)}$	$T_{\text{saída}} \text{ (K)}$
<i>Analítico</i>	1,478	110,0	0,30	540,00	810,00
<i>Numérico</i>	1,478	116,7	0,32	533,01	761,62

Pelos resultados obtidos constata-se que o código CFD desenvolvido fornece uma boa estimativa dos campos de velocidade, pressão, massa específica e temperatura ao longo de tubulações com seção reta constante.

Uma análise transiente foi realizada prescrevendo-se uma função senoidal para a pressão de entrada e mantendo-se a pressão de saída fixa. Os resultados mostrados na Figura 2 mostram que o aumento da frequência de pulsação acarreta uma diminuição no fluxo de massa, conforme era de se esperar.

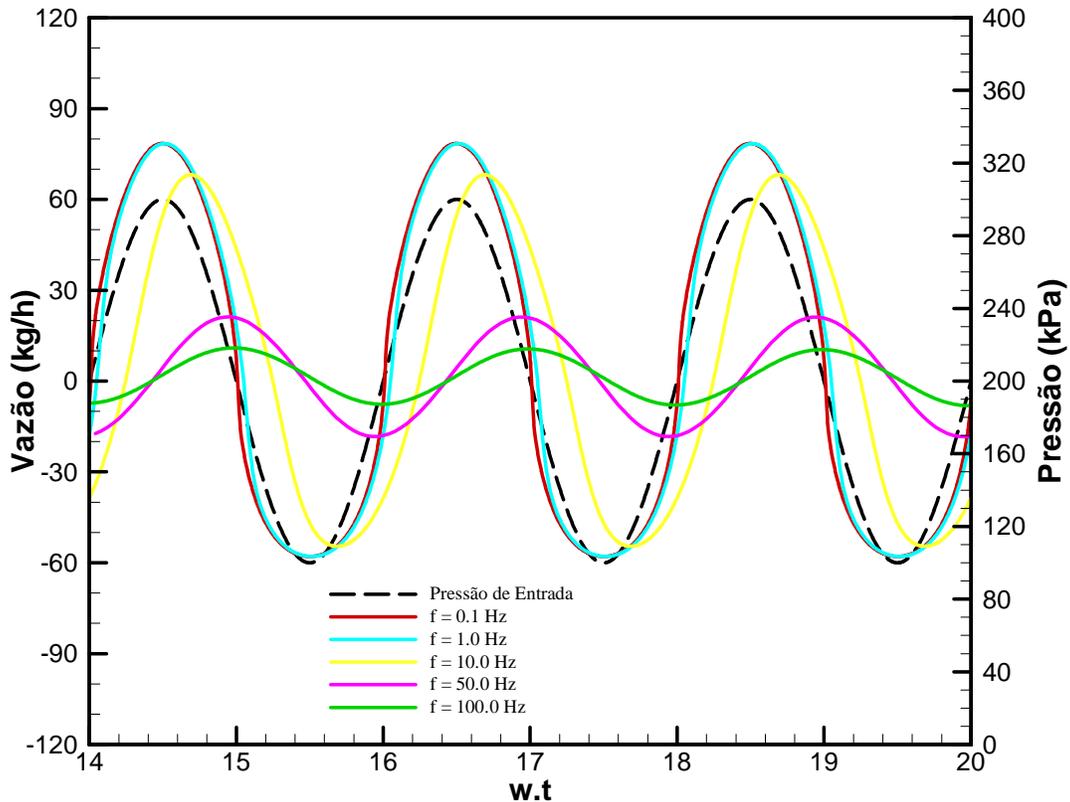


Figura 2: Fluxo de massa para diferentes frequências de pulsação.

O código CFD aqui apresentado foi utilizado para simular a linha de sucção de compressores herméticos alternativos, onde são colocados volumes para o amortecimento da pressão, ocasionando regiões de expansão e contração no escoamento. Para a discretização destas singularidades usou-se a equação proposta por Escanes *et al* (1996). Os resultados obtidos foram satisfatórios quando comparados com resultados experimentais e resultados de outras formulações até então usadas para simular a linha de sucção.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Empresa Brasileira de Compressores S.A. (EMBRACO), pelo apoio financeiro e pela disponibilidade de parâmetros necessários à simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Escanes, F., Pérez-Segarra, C. D., Rigola, J., Serra, J. M., Pons, J., Escribà, M., Jornet, M. – **Numerical Simulation of Hermetic Reciprocating Compressors. Recent Improvements and Experimental Validation**, Purdue, 1996.

Maliska, C. R. – **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1995.