

GERAÇÃO DE ENTROPIA EM ESCOAMENTOS RADIAIS TRANSIENTES DEVIDA AOS EFEITOS VISCOSOS

C. F. E. Alves¹

W. Braga

PUC-Rio, Dep. Engenharia Mecânica
22453-900 - Rio de Janeiro – RJ - Brasil

C. A. Thompson

Augusto da Motta Centro Universitário
Rio de Janeiro – RJ - Brasil

Resumo. *É apresentado o resultado numérico da entropia gerada em um escoamento radial transiente entre dois discos paralelos com fronteira móvel alimentados axialmente. O problema é resolvido acoplando-se a modelagem do escoamento do fluido à dinâmica do movimento da palheta. O escoamento é considerado incompressível, laminar e isotérmico e o fluido de trabalho (ar) possui um comportamento Newtoniano. As equações de conservação são resolvidas pelo método dos volumes finitos. É analisado o caso de fluxo mássico de alimentação periódica. É mostrado como a entropia gerada, devido aos efeitos viscosos, é afetada pelo escoamento do fluido.*

Palavras-chave: *escoamento radial transiente, entropia gerada, fronteiras móveis.*

1. INTRODUÇÃO

As irreversibilidades relacionadas à Transferência de Calor, à fricção e a outros fenômenos presentes nos Sistemas Térmicos tem sido avaliadas com a utilização da taxa de entropia gerada, Bejan (1982). Em turbomáquinas a potência perdida devida às irreversibilidades é proporcional à taxa de geração de entropia.

Na solução de problemas de Dinâmica dos Fluidos em regime transiente, os campos de velocidade e de temperatura (no caso de problemas não isotérmicos) são determinados para cada incremento temporal. Com estas informações é possível calcular a taxa de geração de entropia, bem como, a sua dependência em relação ao campo de velocidade (efeitos viscosos) e ao campo de temperatura (efeitos térmicos). Do campo de entropia gerada os projetistas podem extrair informações úteis de modo a alcançarem um melhor entendimento dos fenômenos físicos relacionados ao problema, possibilitando a adoção de medidas que visem melhorar a eficiência dos processos envolvidos, Sciubba (1997).

¹ endereço permanente: Campus Regional da UERJ – Instituto Politécnico
28614-090 - Nova Friburgo – RJ - Brasil

O interesse pelo escoamento radial entre dois discos concêntricos e paralelos foi motivado por suas inúmeras aplicações tecnológicas. Em particular, o estudo de difusores radiais alimentados axialmente tem sido utilizado como um modelo para a análise de problemas físicos como o comportamento do escoamento através das válvulas do tipo palheta existentes em compressores de deslocamento alternativos herméticos, Alves *et al.* (1997), Deschamps *et al.* (1987 e 1996), Ferreira *et al.* (1987), entre outros, o projeto de impactadores inerciais, Marple *et al.* (1974) e, de mancais de escora aerostáticos, Freitas & Prata (1998).

Neste tipo de geometria, o escoamento é alimentado através de um orifício existente no centro de um dos discos, Figura 1. Esta geometria mais simples é utilizada tanto nas simulações numéricas quanto nos trabalhos experimentais já que as principais características do escoamento através de uma válvula também estão presentes no caso escolhido, Ferreira & Prata (1990).

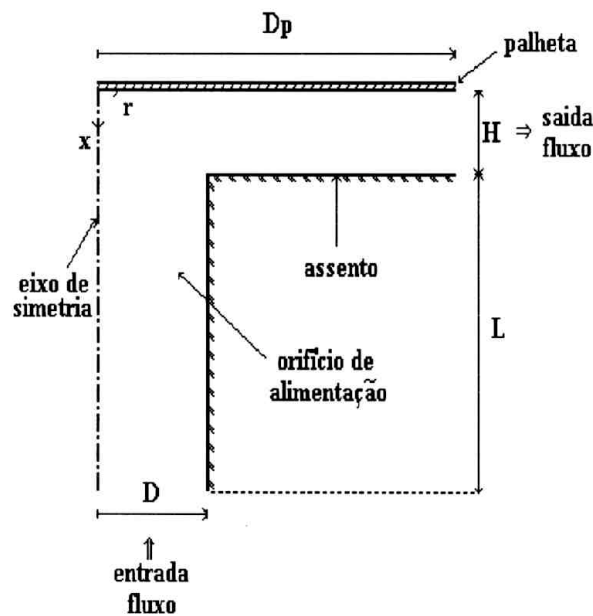


Figura 1 - Geometria do problema (fora de escala).

Recentemente, tem-se procurado um melhor entendimento do escoamento transiente associado ao movimento de fronteira em difusores radiais. Alves *et al.* (1997) analisaram o comportamento temporal da força sobre a palheta do difusor radial alimentado axialmente devido a uma mudança súbita de posição imposta à palheta. Lopes & Prata (1997) procuraram determinar a posição da palheta ao longo do tempo como resposta a uma oscilação periódica do fluxo mássico. Obtiveram assim, uma solução acoplada para a solução detalhada do escoamento e o comportamento dinâmico da válvula

Em situações nas quais o domínio físico é móvel no tempo, faz-se necessário a introdução de uma nova equação de conservação ao problema. Esta equação denominada de equação de conservação de espaço, Thomas & Lombard (1979) e Demirdzic & Peric (1988), deve ser resolvida simultaneamente com as equações de conservação de massa, momentum e com a equação da energia no caso de considerarmos o problema térmico. Este método é comprovadamente eficiente para problemas transientes envolvendo velocidades elevadas de deformação do domínio físico, Stroll *et al.* (1995).

No presente trabalho, foi verificada a entropia gerada no escoamento em difusores radiais alimentados axialmente devida somente aos efeitos viscosos, uma vez que apenas o caso isotérmico foi tratado aqui. O objetivo foi identificar as regiões críticas onde a dissipação de energia disponível é acentuada.

EQUACIONAMENTO

O escoamento é considerado incompressível, laminar e isotérmico. O fluido é caracterizado pelo número de Reynolds baseado no diâmetro do orifício de alimentação. Dadas as características geométricas do domínio físico é considerada a simetria angular. Com isto o problema passa a ser tratado como bidimensional e somente metade do domínio plano será considerado. As equações de conservação que para a solução do problema hidrodinâmico do difusor radial alimentado axialmente que descrevem o problema são: conservação de espaço (ECE), Demirdzic *et al.* (1988), continuidade e quantidade de movimento nas direções radial e axial.

- ECE:

$$\frac{1}{J} \frac{dJ}{dt} - \text{div} \vec{V}_b = 0 \quad (1)$$

- continuidade:

$$\frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (\rho J) + \frac{\partial}{\partial x} [\rho(u - u_b)] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v) = 0 \quad (2)$$

- conservação da quantidade de movimento na direção radial:

$$\begin{aligned} \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (\rho J v) + \frac{\partial}{\partial x} [\rho(u - u_b)v] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v v) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \\ + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{v}{r^2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

- conservação da quantidade de movimento na direção axial:

$$\begin{aligned} \frac{1}{J} \frac{\partial}{\partial t} (\rho J u) + \frac{\partial}{\partial x} [\rho(u - u_b)u] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v u) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \\ + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

onde x é a coordenada axial, r é a coordenada radial, u é a componente de velocidade na direção axial, v é a componente de velocidade na direção radial, J é o Jacobiano do elemento de volume, \vec{V}_b é a velocidade de deslocamento das fronteiras do elemento de volume, u_b é a componente axial da velocidade de deslocamento da malha (o movimento de malha é restrito somente à direção axial), ρ é a massa específica do fluido, P é a pressão e μ é a viscosidade dinâmica do fluido.

O deslocamento da palheta é definido pelo seu comportamento dinâmico. Será assumido que a palheta é um disco rígido cujo movimento será sempre paralelo ao assento. A equação do comportamento dinâmico da palheta é obtida a partir do equilíbrio das forças que

agem no sistema (força da mola, força de amortecimento, força de pré-carga, F_{pl} , força peso e força de arrasto, F_p). A equação de movimento da palheta pode ser escrita como:

$$m_t \frac{d^2 x}{dt^2} = -c_v \frac{dx}{dt} - k_s x - F_{pl} + m_t g + F_p \quad (5)$$

onde k_s é a constante elástica linear da mola, C_v o coeficiente de amortecimento da mola, m_p a massa da palheta, m_s a massa da mola, g aceleração da gravidade, a massa total do sistema é dada por: $m_t = m_p + m_s / 3$ Parise (1991), a força de pré-carga foi considerada nula e a força de arrasto é obtida por:

$$F_p = \int_0^{2\pi} \int_0^{DP} P r dr d\theta \quad (6)$$

Após obtida a solução hidrodinâmica do problema, para um dado instante de tempo, o valor de F_p pode ser determinado. Conhecido F_p , pode-se integrar numericamente a equação (5) e determinar a nova posição da fronteira física do problema (palheta), bem como sua velocidade e aceleração. Retorna-se então à solução hidrodinâmica considerando o novo domínio físico após o movimento da palheta. Isto irá fazer com que seja obtido um novo valor para F_p . Prossegue-se neste ciclo de cálculos até que a convergência numérica de uma solução para regime permanente seja atingida, ou até que seja alcançado um determinado instante de tempo desejado, no caso de problemas transientes periódicos.

Conhecendo-se o campo de velocidades, para um problema isotérmico, pode-se determinar o campo de geração de entropia devido aos efeitos viscosos. A taxa de entropia gerada associada ao transporte de *momentum* por unidade de volume, S_g , pode ser escrita como, Bejan (1982):

$$S_g = \frac{\mu \phi}{T} \quad (7)$$

sendo ϕ a função de dissipação viscosa e T a temperatura. Considerando a simetria, ϕ pode ser escrito como:

$$\phi \equiv 2 \left[\left(\frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \frac{v^2}{r^2} + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v) + \frac{\partial u}{\partial x} \right]^2 \quad (8)$$

A função de dissipação viscosa é positiva e representa uma fonte de energia interna devido ao trabalho de deformação sobre o fluido. Este trabalho é extraído dos agentes mecânicos que causam o movimento e é convertido em energia interna.

As condições de contorno para o problema são:

- i - condição de não deslizamento nas paredes sólidas, assento e orifício de alimentação ($u=v=0$);
- ii - palheta - condição de não deslizamento, $v=0$, posição, $x=x(t)$ e componente axial de velocidade, $u=u(t)$, obtidos da solução da equação (5) para cada incremento temporal,
- iii - para o eixo de simetria axial, $r=0$, $v=\partial u/\partial r=0$;

- iii- condição de entrada no orifício de alimentação: $u(t) = u_0 + u_1 \text{sen}(\omega t)$ onde u_0 é a velocidade média de alimentação do fluido pelo orifício, u_1 é uma amplitude de variação da velocidade média do fluido e ω uma frequência angular.;
- iv – na seção de saída do difusor radial: pressão atmosférica.

SOLUÇÃO NUMÉRICA

A metodologia empregada na solução das equações diferenciais obtidas, após a discretização das mesmas, é a dos volumes finitos, Patankar (1980). A solução das equações é obtida utilizando o código computacional FLUENT versão 4.4.1, Fluent (1996), ao qual foram incorporadas sub-rotinas que permitem a obtenção da solução onde ocorre a movimentação de fronteira acoplada ao escoamento de um fluido. A simulação numérica foi realizada em estações gráficas de trabalho IBM modelo RISC6000.

O primeiro passo para se obter a solução numérica é mapear o domínio físico do problema gerando-se uma malha e obtendo-se um volume de controle ao redor de cada ponto nodal. As equações algébricas são então obtidas a partir das equações diferenciais, assumindo-se um perfil de variação das variáveis entre os pontos nodais de modo a se obter o fluxo das propriedades através das faces do elemento de volume, a variação temporal das propriedades e o termo fonte para cada elemento de volume. Neste trabalho o perfil escolhido foi em forma de degrau, *stepwise*.

As equações diferenciais oriundas dos princípios de conservação são então integradas ao redor de cada volume de controle de modo a se obter as equações algébricas para as variáveis dependentes nos pontos nodais em função dos valores destas mesmas variáveis nos pontos vizinhos. Este sistema deverá ser desacoplado de modo que o conjunto de equações possa ser resolvido utilizando algum dos processos iterativos conhecidos.

Para o cálculo das derivadas do escoamento ou interpolações entre pontos nodais da malha utilizou-se um esquema *Upwind* de segunda ordem.

O conjunto de equações algébricas obtidas é resolvido por um esquema iterativo semi-implícito (SIMPLEC), Patankar (1980), a partir de uma condição inicial da palheta (posição inicial dada e velocidade e aceleração nulas) e condições de contorno impostas. Para cada incremento temporal, após ter sido determinado o campo de velocidades e pressão, isto é, a solução do problema hidrodinâmico, a distribuição de pressão sobre a palheta será integrada de modo a ser determinada a força de ação do escoamento. De posse deste valor a equação diferencial que descreve o comportamento dinâmico da palheta poderá ser resolvida. O método de solução escolhido para a equação diferencial que determina o comportamento dinâmico da palheta foi o método de Runge-Kutta-Fehlberg adaptativo de quarta ordem, DeVries (1994). Esta equação diferencial é resolvida a cada instante de tempo fornecendo uma nova posição da palheta. Esta nova posição determina um novo domínio físico de solução para o problema hidrodinâmico. Deste modo, uma nova malha deve ser gerada para a região do difusor radial e os coeficientes métricos recalculados a cada instante de tempo. Passa-se então para um novo instante de tempo onde a nova geometria do problema foi estabelecida pelo movimento da palheta. Soluciona-se novamente o problema hidrodinâmico, obtendo-se assim uma nova força de ação do fluido sobre a palheta que permite estabelecer uma nova posição para a palheta. O procedimento descrito prossegue até que seja atingida uma determinada condição de parada imposta ao problema.

Para cada incremento temporal o processamento é interrompido quando o somatório do resíduo normalizado de todas as equações do problema atinge um valor abaixo do parâmetro de tolerância especificado. Nas simulações deste trabalho usou-se o valor 10^{-4} . Um

outro critério utilizado foi verificar ao final do processo iterativo se ocorre conservação de massa no problema, isto é, para problemas incompressíveis o fluxo mássico que entra no difusor deve ser igual ao fluxo mássico que deixa o difusor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na equação do movimento dinâmico da palheta, equação (5), fez-se: constante elástica da mola, $k_s = 200 \text{ N/m}$; coeficiente de amortecimento, $c_v = 0,5 \text{ Ns/m}$; massa da palheta, $m_p = 3,2 \times 10^{-3} \text{ kg}$ e a força de pré-carga nula. Para o perfil uniforme da velocidade de alimentação do difusor radial: $u_0 = 3,0 \text{ m/s}$; $a = 0,5$ e $\omega = 366,6 \text{ rad/s}$. O número de Reynolds médio para o problema é de 1080. A malha adotada, não uniforme foi 26×47 (número de pontos na direção axial e radial respectivamente) sendo $D=5\text{mm}$; $L=1,5\text{mm}$ e $D_p=8,5\text{mm}$, Figura 1.

A movimentação da palheta passa a apresentar um comportamento periódico após alguns ciclos do fluxo mássico. A posição da palheta e a velocidade do fluxo mássico de alimentação após ter sido atingido o regime periódico são mostradas na Figura 2. Nesta Figura 2 estão representados quatro pontos A, B, C e D nos quais será analisada a entropia gerada.

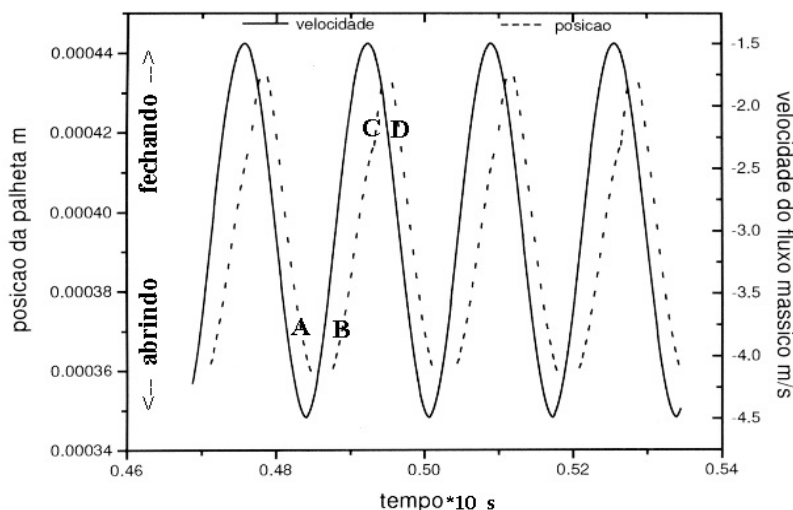


Figura 2 – Pontos selecionados ao longo do deslocamento da palheta para a análise da entropia gerada.

Na Figura 3 é apresentado o resultado encontrado para o campo de entropia gerada (numa escala logarítmica) devido aos efeitos viscosos para o ponto A da Figura 2. Esta figura mostra que a região crítica para o problema em estudo é aquela junto à palheta, logo após a deflexão do jato. Está também representado um detalhe dos perfis da entropia gerada, em escala logarítmica, na região do difusor e o valor da razão entre o logaritmo da entropia gerada na palheta e no assento para cada perfil representado, bem como um detalhe da entrada do orifício de alimentação.

Um outro resultado que pode ser extraído está relacionado à diferença do comportamento da entropia gerada na palheta e no assento, Figuras 4a a 4c. Na palheta, Figura 4a, o valor é inicialmente elevado e este decai continuamente ao se aproximar da saída do difusor (há um aumento de área e redução na intensidade da velocidade bem como de sua variação na direção axial). Para o assento, Figura 4b, junto à quina, o valor da entropia gerada

é mais baixo que na palheta. Junto ao assento há uma bolha de recirculação (valor do mínimo de entropia gerada para o assento). A bolha de recirculação, dependendo do caso, pode diminuir sua espessura ao longo do difusor, caso exista até a seção de saída como neste caso estudado, ou mesmo, desaparecer antes de atingir a saída do difusor. Para este caso estudado, verificou-se que na entrada do difusor radial, junto ao assento, tem-se dois pontos de malha na direção axial dentro da bolha de recirculação (na região próxima a $r=2,75 \times 10^{-3}$ na Figura 4b). Já para a região à jusante do difusor há somente um ponto de malha para a direção axial dentro da região de recirculação.

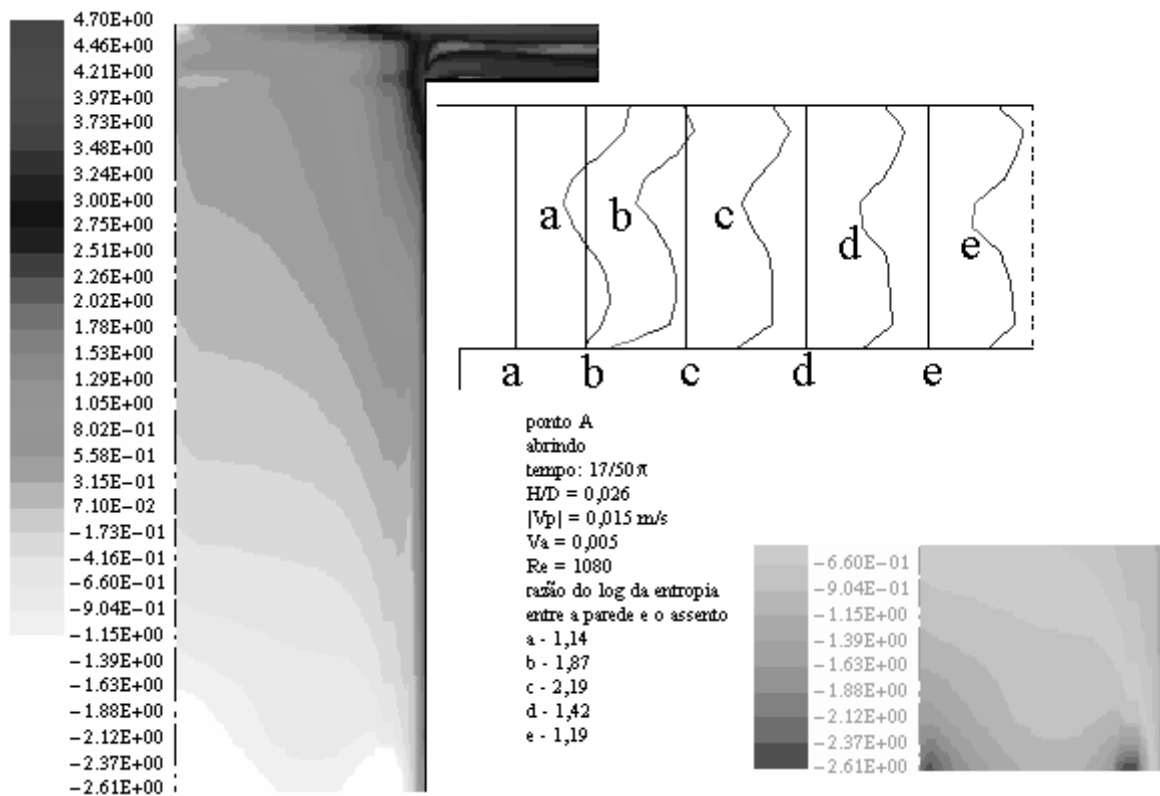


Figura 3 - Campo de entropia gerada (em escala logarítmica) e em detalhe o perfil da entropia gerada no difusor e a razão entre o seu valor na palheta e no assento.

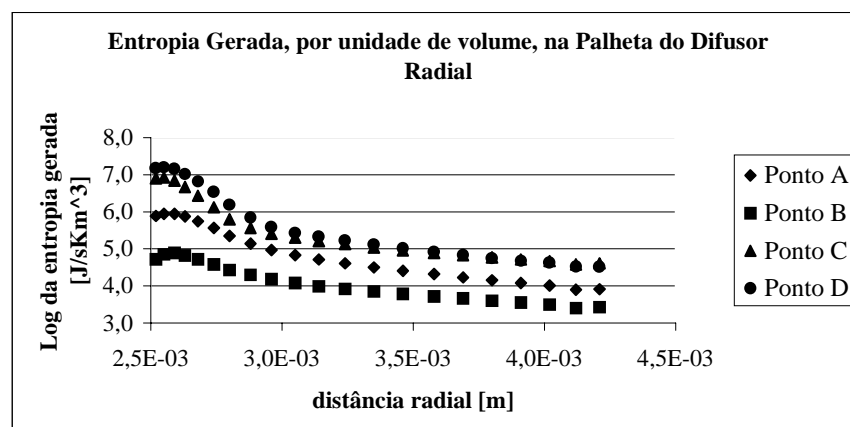


Figura 4a – Variação da entropia gerada, em escala logarítmica, ao longo do difusor, na palheta.

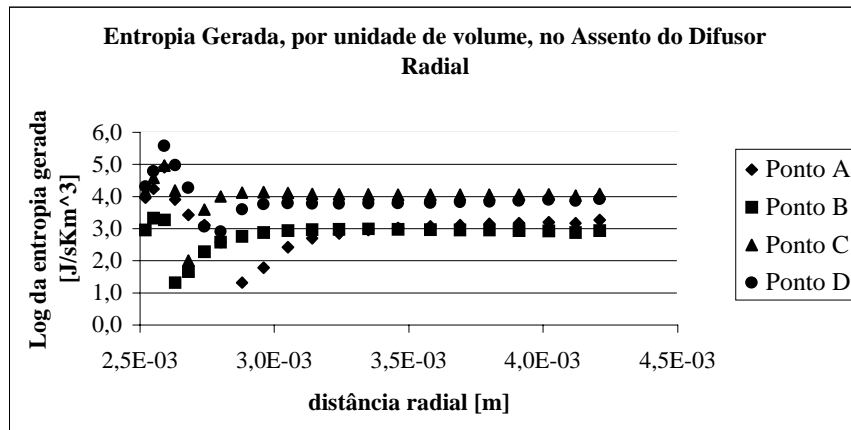


Figura 4b – Variação da entropia gerada, em escala logarítmica, ao longo do difusor, no assento.

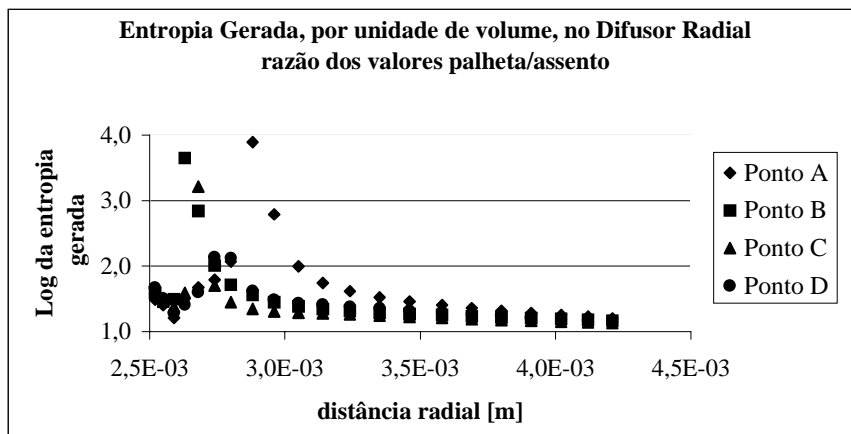


Figura 4c – Variação da entropia gerada, em escala logarítmica, ao longo do difusor, razão dos valores palheta/assento.

Quantitativamente o campo de entropia gerada, bem como a extensão da região de máxima intensidade, são afetados pela direção e velocidade de movimentação da palheta e pelo fluxo mássico de alimentação. A maior alteração do campo ocorre para o ponto A. Neste ponto a palheta está abrindo e o fluxo mássico possui um valor próximo ao máximo de sua variação. Já a menor perturbação está presente no ponto D, quando a palheta está abrindo mas o fluxo mássico está próximo do seu menor valor de variação. Em todos os casos, há uma tendência do escoamento em se estabilizar quando caminha a jusante do difusor, ou seja, tende a ser hidrodinamicamente desenvolvido a medida que se aproxima da seção de saída. Deste modo, a razão entre as entropias geradas na palheta e no assento tende a se aproximar do valor unitário, caracterizando uma estabilização da entropia gerada.

Com os resultados obtidos é possível verificar que quando a palheta está abrindo a entropia gerada é mais intensa do que quando a palheta está fechando, para situações onde a razão de afastamento é a mesma. Esta análise pode ser realizada com o auxílio da Tabela 1 onde representa-se o fluxo mássico que escoar através do difusor radial para os pontos selecionados na Figura 2, a velocidade média na entrada do difusor radial, a movimentação da palheta (se abrindo ou fechando) e a entropia máxima gerada por unidade de volume (representada na escala logarítmica).

Tabela 1 – Fluxo mássico e velocidade média na entrada do difusor para os pontos selecionados de Figura 2.

Ponto da Figura 2	Fluxo mássico na entrada do difusor 10^{-4} kg/s	Área de passagem na entrada do difusor 10^{-5} m ²	Velocidade média na entrada do difusor m/s	$V_a \cdot 10^{-2}$ [] + abrindo - fechando	S_g [J/m ³ sK] máximo (logaritmo)
A	1,014	0,4084	21,15	0,5	4,70
B	0,555	0,4084	11,54	-0,7	3,60
C	0,405	0,2513	13,67	-0,2	5,96
D	0,740	0,2513	25,00	1,1	6,23

A Tabela 1 permite concluir que os pares de pontos A e B, e C e D, mesmo possuindo uma mesma razão de afastamento (H/D), o fluxo mássico a que são submetidos não é o mesmo (como pode ser observado na Figura 2). Deste modo, para cada par, de mesmo valor de razão de afastamento, a entropia gerada é máxima no caso em que o fluxo mássico é maior e, conseqüentemente, encontram-se os maiores valores para os gradientes de velocidade.

CONCLUSÃO

O conhecimento do campo de entropia gerada é uma importante ferramenta que possibilita a melhora da performance de equipamentos. A eficiência destes equipamentos está baseada em parâmetros que fornecem uma estimativa do valor total das perdas que provêm das contribuições individuais das diversas perdas localizadas. Deste modo, com o campo de geração de entropia, os projetistas possuem uma ferramenta a mais que possibilita a visualização e a localização das regiões de perdas mais acentuadas. Conhecidas estas regiões para cada instante de tempo pode-se procurar uma a geometria ótima até que as perdas sejam consideradas satisfatórias.

REFERÊNCIAS

- Alves, C. F. E., Braga, W. e Thompson, C. A., 1997, Força axial atuando num difusor radial devido ao movimento súbito da palheta, XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Baurú, SP, dezembro 8-12, COB346.
- Bejan, A., 1982, *Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow*, John Wiley and Sons Inc.
- Bird, R. B., Stewart, W. E. and Lightfoot, E. N., 1960, *Transport Phenomena*, John Wiley and Sons Inc.
- Demirdzic, I. & Peric, M., 1988, Space conservation law in finite volume calculations of fluid flow, *Int. J. for Numerical Methods in Fluids*, vol. 8, pp. 1037-1050.
- Deschamps, C. J., Prata, A. T. e Ferreira, R. T. S., 1987, Análise da influência do comprimento do orifício de passagem no escoamento em difusores radiais, *Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica*, Florianópolis, SC, dezembro 7-11, pp. 335-338.
- Deschamps, C. J., Prata, A. T. and Ferreira, R. T. S., 1996, Turbulent flow through reed type valves of reciprocating compressors, *Proceedings of the 1996 ASME Int. Congress and Exposition - Symposium on the Analysis and Applications of Heat Pump & Refrigeration Systems*, Texas, USA, pp. 151-161.
- DeVries, P. L., 1994, *A First Course in Computational Physics*, John Wiley and Sons Inc.

- Ferreira, R. T. S., Prata, A. T. and Deschamps, C. J., 1987, Laminar fluid flow in compressors valves: numerical and experimental results, The Winter Annual Meeting of the ASME, Fluid Flow and Heat Transfer in Reciprocating Machinery, Boston, december, FED - v. 62, HTD - v. 93, ASME, pp. 33-38.
- Ferreira, R. T. S & Prata, A. T., 1990, Transferência de calor e escoamento através de válvulas de compressores alternativos, 1990, Anais do III Encontro Nacional de Ciências Térmicas, Itapema, SC, dezembro, pp. 871-876.
- FLUENT, version 4.4, 1996, Fluent Inc., Centerra Resource Park, 10 Cavendish, Lebanon, NH 03766.
- Freitas, D. S. & Prata, A. T., 1998, Modelagem e simulação de mancais aeroestáticos duplo-Esféricos, RBCM – Journal of the Brazilian Soc. Mechanical Sciences, vol. XX, nº 1, pp. 126-142.
- Lopes, M. N. & Prata, A. T., 1997, Comportamento dinâmico de válvulas tipo palheta em escoamentos periódicos, Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Baurú, SP, dezembro 8-12, COB1138.
- Marple, V. A., Liu, B. Y. H. & Whitby, K. T., 1974, Fluid mechanics of the laminar flow aerosol impactor, Aerosol Science, vol. 5, pp. 1-26.
- Parise, J. A. R., 1991, Notes on the modeling of energy conversion systems- I: Positive displacement devices, Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio.
- Patankar, S. V., 1980, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill.
- Prata, A. T., Ferreira, R. T. S e Deschamps, C. J., 1986, Escoamento laminar em difusores radiais, computação e experimento, Anais do I Encontro Nacional de Ciências Térmicas, Rio de Janeiro, RJ, dezembro, pp. 63-66.
- Sciubba, Enrico; Professor of Turbomachinery at The University of Rome Dipartimento di Meccanica e Aeronautica Via Eudossiana, 18-00184 Roma - Italia
e-mail address: e.sciubba@dma.ing.uniroma1.it
1. “Entropy-Generation Primer” -
<http://www.memagazine.org/backissues/october97/features/entropy/entgen.html>
 2. “Classification of Losses in Turbomachinery Channels” -
<http://www.memagazine.org/backissues/october97/features/entropy/clasloss.html>
 3. “Calculating Entropy with CFD”-
<http://www.memagazine.org/backissues/october97/features/entropy/entropy.htm>
- Ströll, H., Durst, F., Peric, M. and Scheuerer, G., 1995, Numerical study of a piston-driven unsteady flow in a pipe with sudden expansion, Int. J. for Numerical Methods in Fluids, vol. 21, p. 237-251.
- Thomas, P. D. & Lombard, C. K., 1979, Geometric conservation law and its application to flow computations on moving grids, AIAA Journal, vol. 17, october, p. 1030-1037.

ENTROPY GENERATION IN UNSTEADY RADIAL FLOW DUE BY VISCOUS EFFECT

Keywords. *unsteady radial flow, entropy generation, moving grid.*

Summary. *This paper reports a numerical result of some aspects of the entropy generation of the axially fed radial flow between parallel disks of one unsteady flow on a situation in which the frontal disk can move. The problem is solved coupling the fluid flow modeling and the valve dynamics movement. The fluid (air) is assumed to have a Newtonian behaviour. The flow is incompressible, laminar and isothermal in an axisymmetric geometry. The governing equations are solved by finite volume methodology. The flow characteristics presented herein relate the situation where it was prescribed periodic mass flux at the inlet orifice. It is shown how the entropy produced by the viscous dissipation is affected by the fluid flow.*