

# **PROJETO DE MEDIDOR DE VAZÃO TIPO VENTURI ORIENTADO POR SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: Condicionador de Escoamento, Razão de Diâmetro e Influência do Escoamento na Queda de Pressão.**

**Ronald Alzamende Martins**

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado, Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900, [ronaldlm@unb.br](mailto:ronaldlm@unb.br)

**João Manoel Dias Pimenta**

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado, Asa Norte, Brasília, DF, CEP 70910-900, [pimenta@unb.br](mailto:pimenta@unb.br)

**Resumo:** Medidores de vazão são amplamente utilizados em diversas aplicações industriais. Entre os medidores de vazão baseados na queda de pressão, os tubos de Venturi, apesar de sua simplicidade e baixo custo, são de uso limitado, sendo restritos às aplicações onde a precisão não é essencial. Neste trabalho, um estudo numérico é realizado a fim de se conhecer dois aspectos importantes no projeto do Venturi: (i) eficiência de condicionadores de escoamento e, (ii) influência da geometria da garganta na diferença de pressão. Com respeito aos condicionadores de escoamento, dois diferentes tipos são considerados: O condicionador tipo Etoile e um Novo tipo de condicionador de configuração coaxial. Para cada condicionador, o efeito do distúrbio do escoamento a montante do dispositivo é estudado por meio de parâmetros de eficiência absoluta calculados após simulação numérica. Os resultados obtidos foram comparados com dados experimentais e outras simulações, ambos de trabalhos similares. Para o novo condicionador proposto neste trabalho, uma melhor eficiência foi verificada quando comparado com o condicionador tipo Etoile. Com respeito à geometria da garganta, resultados numéricos são apresentados, descrevendo a influência de configurações diferentes na queda de pressão do Venturi considerando a água como fluido de trabalho.

**Palavras-chave:** Escoamento, Venturi, Simulação, CFD, Condicionador.

## **1. INTRODUÇÃO**

Devido a seu custo reduzido, relativa simplicidade e robustez, a medição da vazão de fluidos por instrumentos baseados no efeito de queda de pressão, tais como placas de orifício, bocais e tubos de Venturi (ABNT, 1988) são adotados nos mais diversos ramos industriais. Aplicações como: transporte de misturas multifásicas, processamento de gás natural, transferência de custódia, distribuição de gás para consumo residencial, são apenas exemplos isolados de inúmeras aplicações. Contudo, aspectos relacionados a baixas faixas de utilização e a sensibilidade a efeitos de instalação representam limitações para a aplicação mais generalizada de medidores de vazão por pressão diferencial.

Uma forma de lidar com perturbações no escoamento consiste em empregar um certo trecho reto mínimo de tubulação, assumindo valores recomendados em norma (ABNT, 1994), à montante

do elemento primário (Venturi, orifício, etc.) de forma a permitir um desenvolvimento do escoamento que atenua o efeito das distorções no mesmo. Por outro lado, instalações mais compactas podem ser obtidas com a utilização de condicionadores de escoamento (ABNT, 1994).

Diversos estudos foram realizados para se determinar o trecho reto ideal, a ser mantido à montante de medidores de vazão. Reader-Harris et al (1997) estudaram o efeito de perturbações no coeficiente de descarga em tubos de Venturi, efetuando simulações numéricas com perfis de velocidade diferentes para estudar o efeito dos mesmos sobre o coeficiente de descarga.

Comparações baseadas em simulações numéricas de três condicionadores de escoamento foram realizadas por Frattolillo e Massarotti (2002). Os resultados dessas simulações foram utilizados para a avaliação dos coeficientes de eficiência absolutos e relativos (considerados neste artigo) sendo também comparados com dados experimentais, obtendo-se boa concordância.

Tekriwal (1996) analisou a influência da geometria do bocal-Venturi na queda de pressão comparando resultados experimentais com simulações numéricas bi-dimensionais, testando dois modelos de turbulência, o modelo padrão  $k-\epsilon$  e o RSM (Reynolds Stress Model).

Inúmeras investigações têm sido realizadas sobre a eficiência de condicionadores de escoamento e seus efeitos nos instrumentos de medição de vazão. O efeito do comprimento do condicionador tipo Etoile foi estudado analisando-se os perfis de velocidades medidos à montante e à jusante do condicionador (Laws e Ouazzane, 1994 e 1995). Uma análise semelhante foi feita para o retificador tipo Zanker, mas o foco da investigação foram os efeitos da espessura das lâminas e a presença da placa perfurada a montante do dispositivo mostrando grande influência da espessura da mesma (Laws e Ouazzane, 1992). O condicionador perfurado de Laws modificado também foi estudado juntamente com a placa de orifício obtendo resultados significativos como a diminuição do erro no coeficiente de descarga devido às perturbações do escoamento (Laws e Ouazzane, 1995).

No presente trabalho, apresenta-se um estudo numérico sobre a eficiência de dois condicionadores de escoamento colocados a jusante de dois cotovelos  $90^\circ$  em planos perpendiculares. A eficiência do condicionador tipo Etoile é analisada para três comprimentos diferentes, comparando-se a eficiência do mesmo a um Novo tipo de condicionador proposto, formado por três cilindros concêntricos com comprimento duas vezes o diâmetro ( $D$ ) da tubulação. Os dados obtidos são baseados em cálculos numéricos utilizando-se o software CFX versão 5.5.1 (CFX, 2002). Também é analisado a influência da geometria do bocal-Venturi sobre a queda de pressão, comparando-se, também, dois modelos de turbulência o RSM (Reynolds Stress Model) e o  $k-\epsilon$  confrontando-os com resultados experimentais encontrados na literatura.

## 2. MEDIÇÃO DE VAZÃO POR TUBOS DE VENTURI

Os medidores de vazão por pressão diferencial são: placas de orifício, tubo de Venturi, bocal e bocal-Venturi. Neste trabalho o tubo de Venturi tipo bocal é estudado a fim de validar o modelo numérico. Todos os dados geométricos referentes ao tubo de Venturi são normalizados segundo a NBR ISO 5167-1 (ABNT, 1994). Para uma medição adequada, é necessário que as condições do escoamento imediatamente a montante se aproximem daquelas de um perfil completamente desenvolvido e que seja livre de movimentos rotacionais (ângulo do *swirl* seja inferior a  $2^\circ$ ). A Figura (1) mostra as dimensões utilizadas no bocal-Venturi estudado.

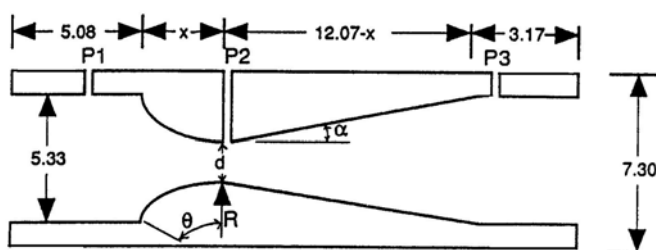


Figura 1 – Ilustração do Venturi testado (todas as medidas estão em cm).

A seção transversal da entrada tem diâmetro de 5,33 cm e 5,08 cm de comprimento, o diâmetro de saída do divergente é o mesmo da entrada. A queda de pressão na seção divergente depende fortemente da geometria da seção convergente a montante. Para uma perda de carga mínima recomenda-se uma entrada radial. O raio de curvatura ( $R$ ) recomendado está entre 1,8d e 2,0d.

Alguns autores (Laws e Ouazzane, 1995; Ouazzane e Barigou, 1999) analisaram a eficiência dos condicionadores comparando-se os perfis de velocidade do fluido, obtidos com e sem o emprego de condicionadores, juntamente com os perfis da intensidade turbulenta axial. Por outro lado, Frattolillo e Massarotti (2002) utilizaram parâmetros de eficiência para analisar três condicionadores (Etoile, Laws e Feixe de tubos). Estes parâmetros representam índices de eficiência absolutos.

## 2.1 Parâmetros de Eficiência Absolutos

Os parâmetros de eficiência de achatamento (*flatness number*) medem o achatamento do perfil de velocidade. Este parâmetro é essencial para instrumentos facilmente influenciados pelo perfil de velocidade, como medidores do tipo pressão diferencial. Dois parâmetros são utilizados:  $K_f$  mede a diferença entre o fluxo do momento axial na seção e de um completamente desenvolvido, dividido pelo fluxo do momento axial na seção; e  $K_{fm}$  mede a diferença entre o fluxo do momento angular axial na seção e de um completamente desenvolvido, dividido pelo fluxo do momento axial na seção. Estes parâmetros podem ser matematicamente escritos como,

$$K_f = \frac{\iint_A \rho(W^2 - W_{rif}^2) dA}{\pi \rho W_m^2 R^2} \quad \text{e} \quad K_{fm} = \frac{\iint_A \rho(W^2 - W_{rif}^2) r dA}{\pi \rho W_m^2 R^3} \quad (3)$$

onde  $A$  é a área da seção do tubo,  $r$  é a coordenada radial,  $R$  o raio da tubulação,  $W$  e  $W_{rif}$  são a velocidade efetiva axial e a velocidade axial de um perfil completamente desenvolvido na seção, respectivamente.  $W_m$  é a velocidade axial média.

Os parâmetros de eficiência do vórtice axial (axial vortex numbers) medem a intensidade do vórtice axial e são importantes em medidores influenciados por rotações. Dois parâmetros são utilizados neste trabalho:  $K_v$  definido como a razão entre o fluxo do momentum tangencial e o fluxo do momentum axial e  $K_{vm}$  que representa o número de rotação (*swirl number*,  $S$ ),

$$K_v = \frac{\iint_A \rho |VW| dA}{\pi \rho W_m^2 R^2} \quad \text{e} \quad K_{vm} = \frac{\iint_A \rho |WV| r dA}{\pi \rho W_m^2 R^3} \quad (4)$$

onde  $V$  é a velocidade tangencial.

## 3. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO

O código de dinâmica dos fluidos computacional utilizado neste trabalho é o software CFX versão 5.5.1 (CFX, 2001). Este código baseia-se na resolução de equações diferenciais utilizando o método de volumes finitos. As equações governantes gerais, resolvidas pelo código são as bem conhecidas: a) equação da continuidade e b) equação de conservação do momento. O escoamento estudado é permanente, incompressível e turbulento, com número de Reynolds igual a  $2 \times 10^5$ .

Como o problema analisado é turbulento, surge a necessidade da utilização dos modelos de turbulência para o fechamento do problema. Diversos modelos vêm sendo testados e desenvolvidos, mas aquele que tem apresentado melhores resultados em várias aplicações, inclusive na presença de pequenos distúrbios (*swirl*), é o modelo k- $\epsilon$  (Guo et al., 2002; Frattolillo e Massarotti, 2002).

No código CFX-5 funções de parede escalonáveis são utilizadas para todos os modelos de turbulência baseados em equações  $-\epsilon$ . A função de parede escalonável foi desenvolvida para contornar uma das desvantagens da aproximação por funções de parede: as previsões dependem da localização do ponto mais próximo da parede e são sensíveis ao refinamento da malha próximo à parede. Ou seja, com a função de parede escalonável não é necessário um refinamento proibitivo na parede (CFX, 2002).

As condições de contorno na entrada, saída e parede são as mesmas utilizadas por Frattolillo e Massarotti (2002) e Martins e Pimenta (2003), para a análise dos condicionadores de escoamento na tubulação com duplo cotovelo 90°. Para a simulação do bocal-Venturi as condições de contorno são as mesmas utilizadas por Tekriwal (1996).

As geometrias tri-dimensionais, visualizadas pelas Fig. (2b) e (2c), foram modeladas utilizando-se o “software” SolidWorks (SolidWorks Corp., 2002). Para as simulações com o bocal Venturi foram utilizadas seis geometrias diferentes, variando somente o diâmetro da garganta (d). Com o valor do diâmetro  $d$ , determinam-se todos os demais dados geométricos (Tekriwal, 1996).

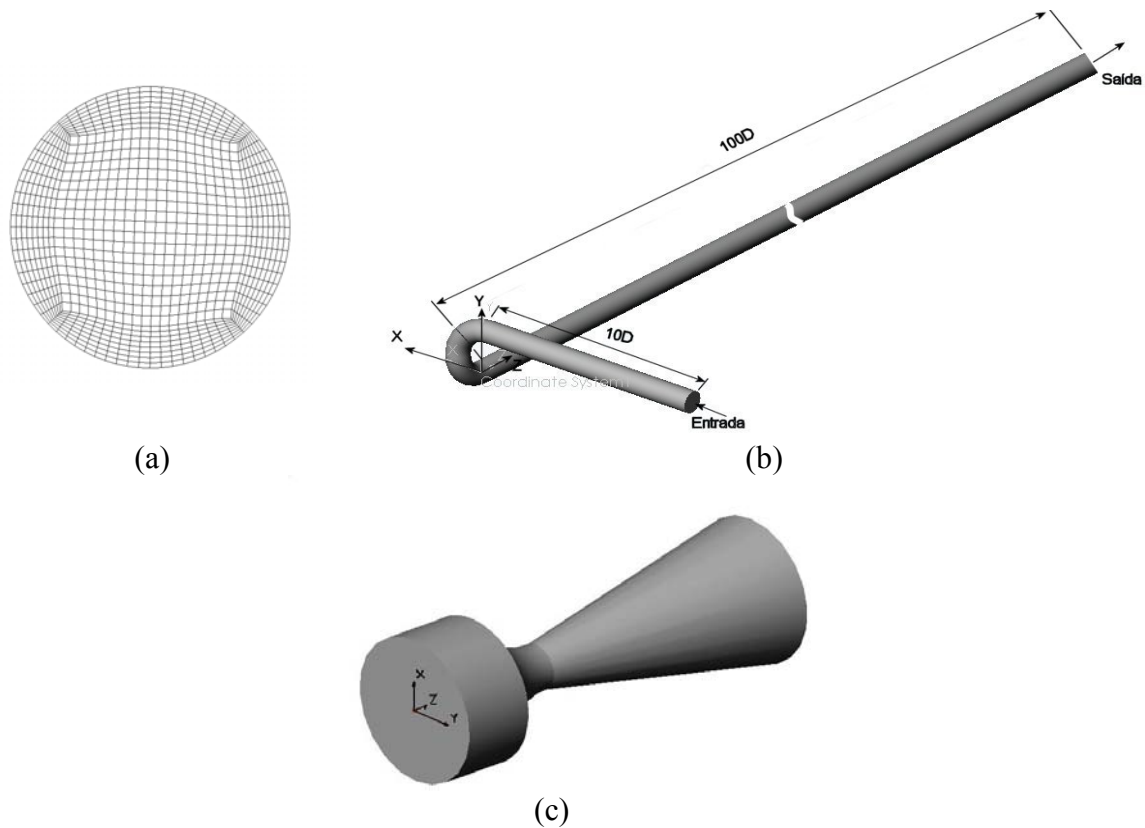


Figura 2 - Domínio computacional: (a) Malha na entrada, (b) Tubulação considerada e (c) Venturi.

A malha gerada pelo código CFX-5 é tetraédrica não estruturada. Testes preliminares utilizando este tipo de malha não forneceram resultados satisfatórios, comparados com resultados experimentais e outras simulações da literatura, pois permitiam o refinamento limitado ao máximo de meio milhão de nós. Entretanto, devido à topologia do elemento de volume, mais de dois milhões de elementos de volume eram gerados, o que levava a um custo computacional excessivo. Optou-se então por uma malha hexaédrica estruturada (Fig. (2a)), construída utilizando-se o software ICEM CFD 4.2 (ICEM, 2002). Com a configuração hexaédrica foi possível refinar a malha a um número próximo de um milhão de nós e, devido à topologia do elemento de volume, gera-se pouco mais de um milhão de elementos de volume. Além disso, a malha se distribuiu melhor na geometria. O número de nós utilizado nas simulações da tubulação está na faixa de 900.000 a 1.200.000. Já para o bocal-Venturi, malhas com número de nós entre 80.000 e 100.000 apresentaram resultados satisfatórios.

Os condicionadores foram posicionados logo após o segundo cotovelo, onde o sistema de coordenadas foi posicionado, sendo  $z$  a coordenada com o sinal positivo no sentido do escoamento.

Para ocasionar a perturbação no escoamento foram utilizados dois cotovelos de  $90^\circ$  localizados em planos ortogonais, colocados em sequência, sem distância entre eles. Ambos possuem o raio de curvatura de 0.075 m. O fluido utilizado para o estudo, em todas as simulações, é a água em condições padrão, com massa específica de  $998 \text{ kg/m}^3$  e viscosidade dinâmica de  $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$ .

Para a análise da eficiência dos condicionadores foram realizadas cinco simulações: Uma simulação sem os condicionadores, e posteriormente mais quatro simulações. Uma simulação para cada comprimento  $L$  do condicionador Etoile, com  $L$  de  $2D$ ,  $1/2D$  e  $1/4D$  e uma com o novo condicionador com comprimento  $2D$ .

Para validar o modelo de turbulência  $k-\epsilon$  na simulação da tubulação comparou-se os perfis de velocidade axial e tangencial, a uma distância de  $2.6D$  a jusante do segundo cotovelo, obtidos na simulação deste trabalho, com outra simulação disponível na literatura (Frattolillo e Massarotti, 2002) e com resultados experimentais também encontrados na literatura (Mattingly e Yeh, 1991). Os perfis de velocidade estão normalizados com base na velocidade média  $U_m$ .

Para a validação dos modelos de turbulência  $k-\epsilon$  e RSM com relação à previsão da queda de pressão por simulação numérica, realizaram-se seis simulações, uma para cada Venturi variando-se a vazão do fluido de 0,5 a 4,5 l/s (total de 36 simulações). A variável de interesse neste caso é a queda de pressão, isto é, a diferença de pressão entre a entrada (P1) do Venturi e a garganta (P2) e entre a entrada (P1) e a saída do divergente (P3). A Tabela (1) mostra os dados geométricos dos bocais-Venturi simulados. O raio de curvatura adotado para todos os Venturis é de  $1,8d$ , com exceção do Venturi 3a, o qual se adotou um valor de  $R$  igual a  $1,2d$ . Fez-se uma comparação entre os resultados do Venturi 3 e 3a para se determinar o efeito do raio de curvatura na queda de pressão.

Tabela 1 – Dados Geométricos dos Venturis testados

Venturi N°	d (cm)	R (cm)	x (cm)	( $\theta$ ) (graus)	( $\alpha$ ) (graus)	d/D
1	1,27	2,29	2,27	83,62	11,72	0,24
2	1,52	2,74	2,61	72,21	11,55	0,29
3	1,65	2,97	2,75	67,65	11,18	0,31
3 <sup>a</sup>	1,65	1,98	1,98	85,96	10,34	0,31
4	1,78	3,20	2,87	63,61	10,94	0,33
5	1,91	3,43	2,97	60,00	10,67	0,36

O condicionador tipo Etoile é formado por quatro placas separadas igualmente na direção angular. O Novo condicionador proposto é formado de três cilindros concêntricos espaçados igualmente na direção radial. As placas de ambos os condicionadores possuem espessura de 1 mm. A Figura (3) ilustra os dois condicionadores.

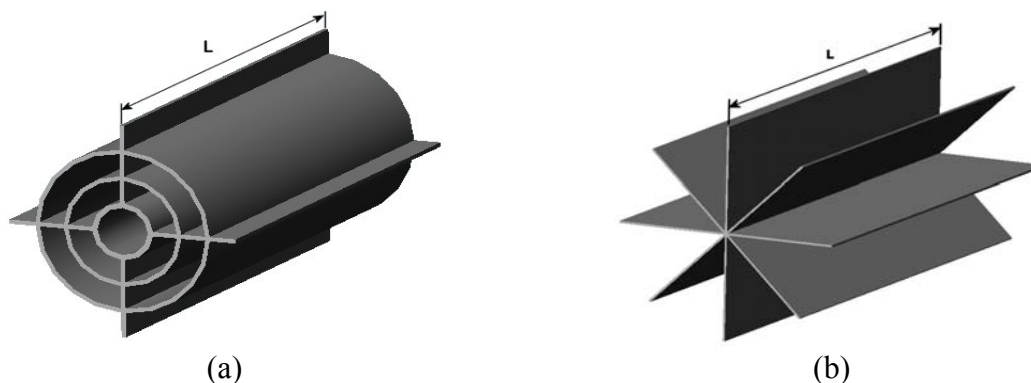


Figura 3 – Condicionadores de escoamento considerados: (a) Novo modelo proposto e (b) condicionador tipo Etoile.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura (4) apresenta a validação do modelo de turbulência k-ε para a tubulação com duplo cotovelo. Pode-se observar que a simulação realizada neste trabalho apresenta uma sensível melhora no cálculo da velocidade axial  $W$ , pois se aproxima mais do resultado experimental, enquanto que para a velocidade tangencial  $V$ , as duas simulações demonstram resultados similares. Devido ao número limitado de estudos disponíveis na literatura e a dificuldade em obter resultados experimentais, não é possível estimar exatamente a incerteza da solução numérica (Frattolillo & Massarotti, 2002).

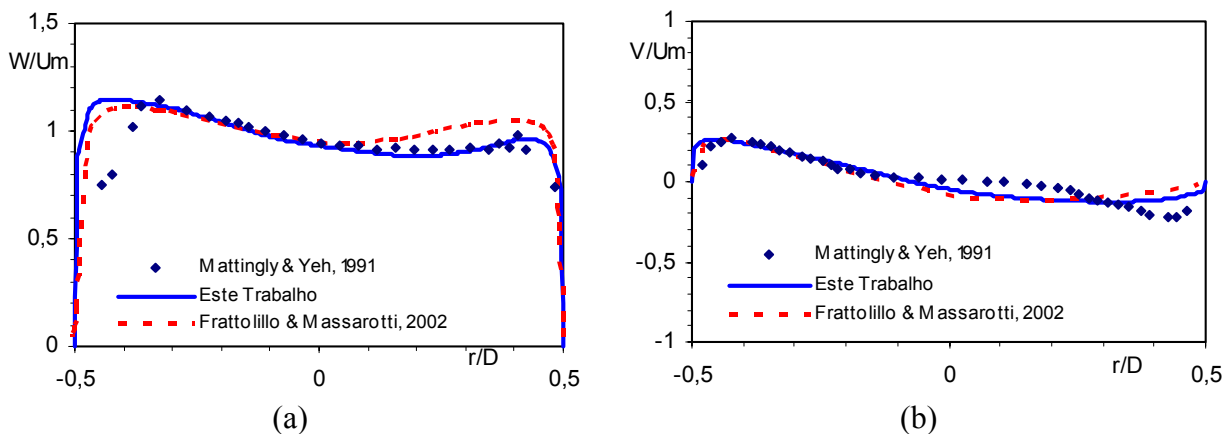


Figura 4- (a) Perfil de velocidade axial e (b) tangencial sem condicionador: Comparação com outros resultados (experimental e numérico) à distância de  $2.6D$  do segundo cotovelo.

Os parâmetros de eficiência calculados de acordo com os resultados numéricos obtidos são mostrados nas Fig. (5) e (6).

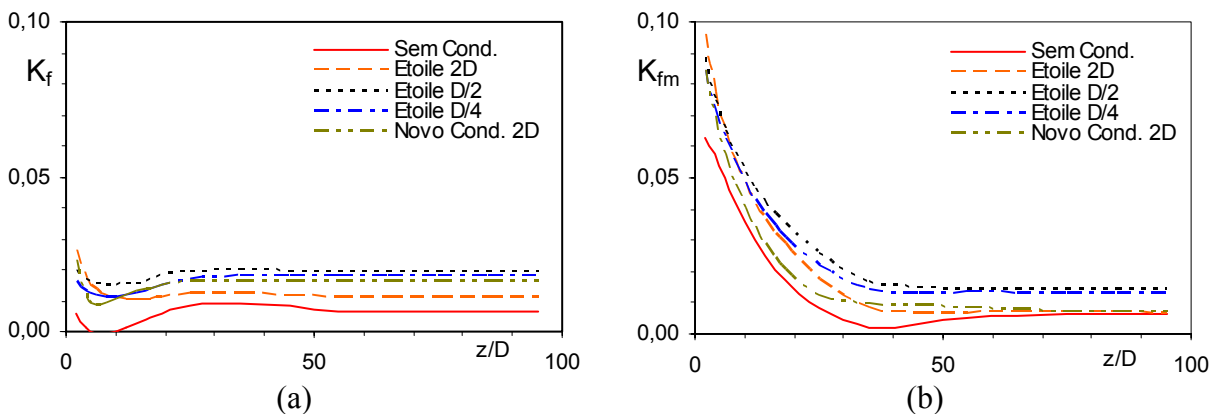


Figura 5 - Números de achatamento (*flatness number*) (a)  $K_f$  e (b)  $K_{fm}$ .

A Figura (5) mostra os parâmetros de eficiência absolutos relacionados ao número de achatamento (*flatness number*). É sabido que condicionadores de escoamento pioram, geralmente, o perfil de velocidade para perturbações suaves, desta maneira os parâmetros  $k_f$  e  $k_{fm}$  apresentam valores maiores na saída da perturbação. Da análise dos valores dos parâmetros  $k_f$ , o condicionador tipo Etoile de comprimento  $2D$  apresenta melhor eficiência em relação ao momento axial a partir de  $20D$  a jusante do cotovelo. Em termos do momento angular  $k_{fm}$ , o novo condicionador proposto, de comprimento  $2D$  apresenta melhor eficiência até uma distância de  $35D$ , a partir da qual o condicionador Etoile  $2D$  apresenta melhor eficiência, para leves distúrbios do escoamento (distúrbio

provocado pelo cotovelo). Observa-se ainda que a diminuição de comprimento do condicionador tipo Etoile, piora sua eficiência tanto em termos do momento axial, quanto do momento angular.

A Figura (6) apresenta os parâmetros de eficiência  $K_v$  e  $K_{vm}$  para o vórtice axial, (6a) e (6b), respectivamente. É notório que os condicionadores reduzem tanto o vórtice axial quanto o vórtice axial angular, analisando-se os parâmetros  $K_v$  e  $K_{vm}$ . Pela observação dos coeficientes absolutos, verifica-se que o condicionador proposto (novo condicionador) apresenta melhor eficiência que o tipo Etoile 2D, havendo uma redução considerável do vórtice a  $10D$  do cotovelo utilizando-se o novo condicionador. Já o condicionador tipo Etoile 2D obtém o mesmo número de rotação  $K_{vm}$  (*swirl number*) após uma distância de  $40D$ . Mesmo reduzindo-se o comprimento do condicionador tipo Etoile, obtém-se redução do vórtice, entretanto, quanto menor o comprimento, pior a eficiência.

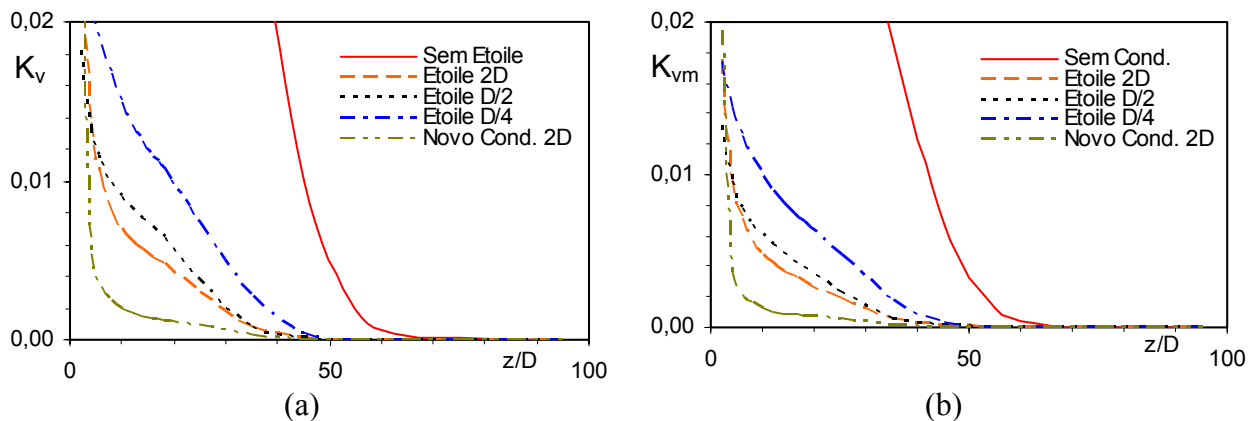


Figura 6 – (a) Número de vórtice axial  $K_v$ , (b) número de rotação (*swirl number*)  $K_{vm}$ .

Pode-se dizer, então que, em relação à redução do vórtice, tanto o condicionador Etoile com comprimento menor que o proposto pela norma, quanto o Novo condicionador são recomendados, pois na saída de cada condicionador observa-se uma intensidade de vórtice bastante reduzida, em comparação com a intensidade do vórtice para a tubulação sem o condicionador.

A figura (7) compara os resultados calculados de P1-P2 e P1-P3, utilizando-se o modelo  $k-\epsilon$ , para os Venturis 3 e 3a. Lembrando que a única diferença entre esses dois Venturis é o o raio de curvatura do convergente, sendo todos os outros dados modificados ( $x, \theta$  e  $\alpha$ ) de forma a manter o comprimento total do Venturi. Observa-se que não houve diferença significativa tanto para P1-P2 quanto para P1-P3, o que indica que uma utilização diferente para o raio de curvatura (1.2d ou outro valor qualquer) daquele indicado pela norma (1.8d) não deve influenciar significativamente na performance do tubo de Venturi.

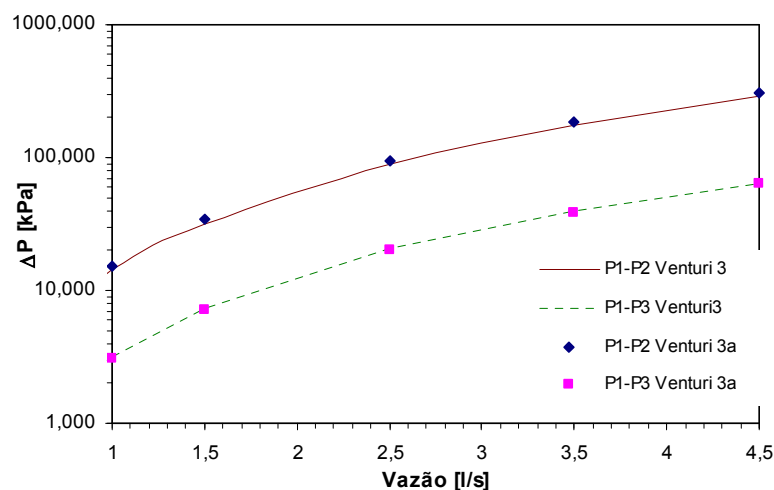


Figura 7 – Comparação entre os Venturis 3 e 3a utilizando o modelo  $k-\epsilon$ .

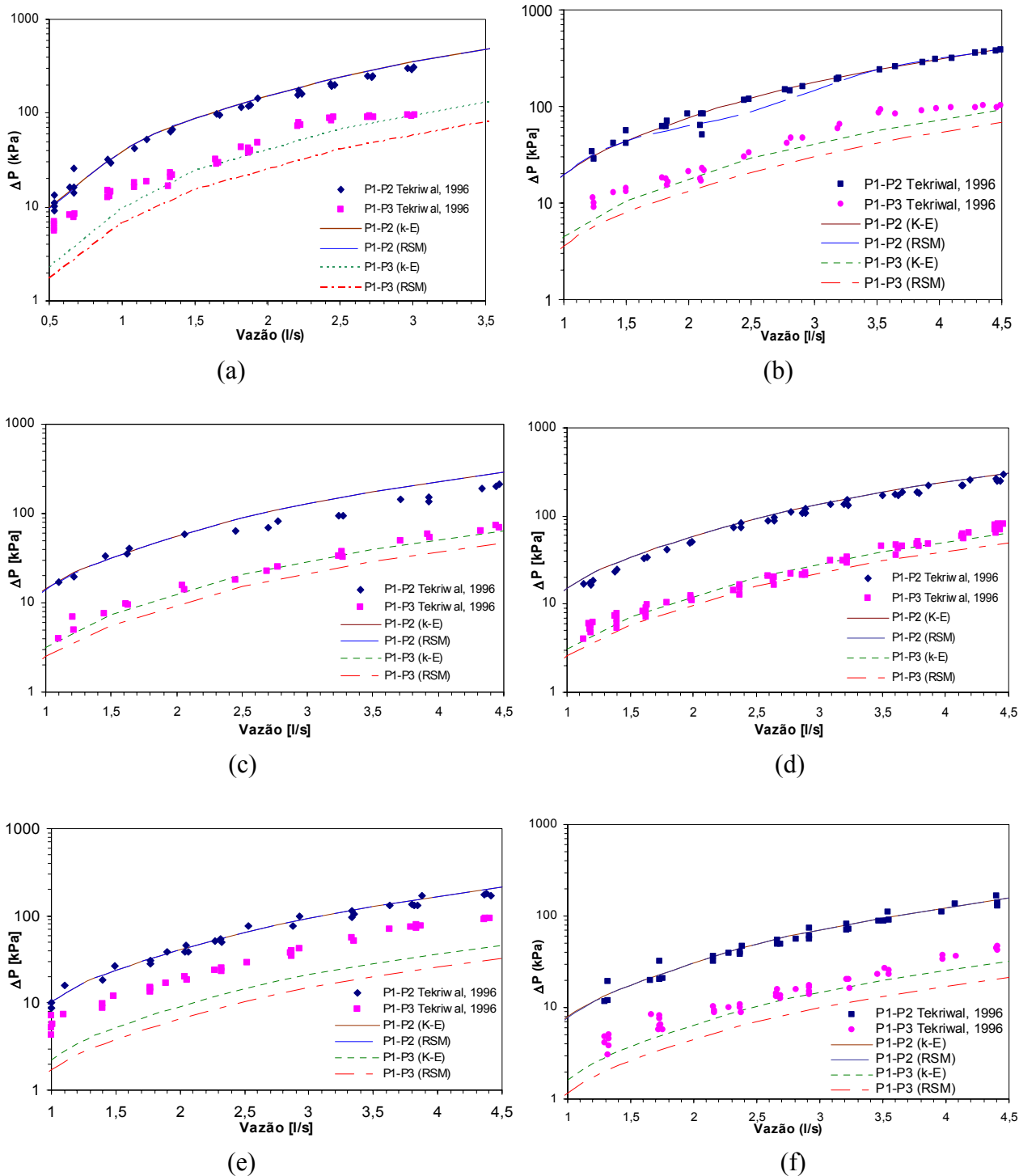


Figura 8 - Comparação entre  $\Delta P$  numérico com experimental (a) Venturi 1, (b) Venturi 2, (c) Venturi 3, (d) Venturi 3a, (e) Venturi 4 e (f) Venturi 5.

A Figura (8) compara os dados numéricos com dados experimentais da queda de pressão na seção convergente (P1-P2) e da perda de carga total (P1-P3) nos Venturis da Tab. (1). Os resultados numéricos dos modelos de turbulência k- $\epsilon$  e RSM são mostrados e comparados com os dados experimentais. As previsões numéricas para a queda de pressão P1-P2 para todos os Venturis mostraram boa concordância com os dados experimentais, observando-se que não houve, significativamente, diferença entre os modelos k- $\epsilon$  e RSM para essa queda de pressão, sendo a única exceção o Venturi 2, o qual apresentou uma diferença entre os dois modelos na faixa de vazão entre 1,5 e 3,5 l/s. A mesma queda de pressão não apresentou uma boa concordância com o resultado



experimental para o Venturi 3 a partir da vazão de 2,5 l/s, abaixo dessa vazão a concordância é satisfatória.

## 5. CONCLUSÕES

A análise numérica torna-se uma ferramenta muito útil em questões de tempo e análise de dados obtidos e vem sendo utilizada cada vez mais no estudo de medidores de vazão e, conseqüentemente, no estudo da eficiência de condicionadores de escoamento. Como era esperado, mais de 50 % do tempo empregado no problema envolveu a criação da geometria (domínio) e da malha. Neste trabalho foram comparadas as eficiências do condicionador tipo Etoile para diferentes comprimentos e de um Novo tipo de condicionador, para um nível baixo de distúrbio, criado por dois cotovelos, sendo os parâmetros de eficiência computados por simulações numéricas. Para o cálculo das eficiências foram utilizados parâmetros de eficiência absolutos propostos na literatura.

Com os resultados obtidos pode-se chegar a algumas conclusões, como:

- O condicionador tipo Etoile, com comprimentos diferentes, e o Novo condicionador proposto não apresentam eficiência quanto ao achatamento do perfil de velocidade em relação ao perfil completamente desenvolvido, chegando mesmo a piorar o perfil em comparação com a configuração da tubulação sem o condicionador.
- Mesmo reduzindo-se o comprimento do condicionador tipo Etoile, pode-se dizer que o condicionador reduz o vórtice, mas apresenta uma eficiência (número de vórtice) pior no caso de um distúrbio leve.
- O novo condicionador proposto apresentou melhor eficiência em relação à redução do vórtice comparado com o condicionador tipo Etoile e seus comprimentos diferentes.

Os resultados do cálculo das velocidades axial e tangencial se aproximam relativamente bem dos resultados teóricos e experimentais da literatura, mas, ainda é necessária uma série de comparações com resultados experimentais para uma validação da simulação numérica. É ainda necessário analisar a influência do refinamento da malha dos resultados, bem como o melhor valor de convergência para o cálculo numérico.

Este trabalho está sendo desenvolvido como tese de dissertação de mestrado na Universidade de Brasília, sendo parte de um projeto mais abrangente que envolve o desenvolvimento tecnológico de transdutores de vazão eletrônicos, baseados em elementos primários tais como tubos de Venturi, na medição da vazão de líquidos e gases.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABNT, 1994, NBR ISO 5167-1 Medição de Vazão de Fluidos por Meio de Instrumentos de Pressão - Parte 1: Placas de Orifício, Bocais e Tubos de Venturi Instalados em Seção Transversal Circular de Conduitos Forçados, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil.
- CFX, 2002, Solver Manual – v. 5.5.1, CFX International, AEA Technology, Harwell, Didcot, Oxon., UK.
- Frattolillo, A., Massarotti, N.; 2002, Flow Conditioners Efficiency a Comparison Based on Numerical Approach. Flow Measurement and Instrumentation 13, pp. 1-11.
- Guo, B., Langrish, T.A.G., Fletcher, D.F., 2002, CFD Simulation of Precession in Sudden Pipe Expansion Flows with Low Inlet Swirl. Applied Mathematical Modelling, vol. 26, pp. 1-15.
- ICEM, 2002, ICEM CFD Engineering, v. 4.2, Berkeley, CA, USA.
- Laws E.M., Ouazzane, A.K., 1992, Effect of Plate Depth on the Performance of a Zanker Flow Straightener. Flow Meas. Instrum., vol. 3, n. 4, pp. 257-269.

- Laws, E.M., Ouazzane, A.K., 1995, A Further Investigation Into Flow Conditioner Design Yielding Compact Installations for Orifice Plate Flow Metering. Flow Meas. Instrum., vol. 6, n. 3, pp. 187-199.
- Laws, E.M., Ouazzane, A.K., 1995, A Preliminary Study into the Effect of Length on the Performance of the Etoile Flow Straightener. Flow Meas. Instrum., vol. 6, n. 3, pp. 225-233.
- Laws, E.M., Ouazzane, A.K., 1994, Compact Installations for Differential Flowmeters. Flow Meas. Instrum., vol. 5, n. 2, pp.79-85.
- Martins, R.A., Pimenta J.M.D., 2003, Numerical Study on the Effects of Flow Straightners Geometry and Installation on Upstream Flow Condition in a Venturi Meter. XXIV CILANCE Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, CIL581-31, Ouro Preto/MG, Outubro.
- Mattingly, G.E., Yeh, T.T., 1991, Effects of Pipe Elbows and Tube Bundles on Selected Types of Flowmeters. Flow Meas. Instrum., vol. 2, pp. 4-13, January.
- Ouazzane, A.K., Barigou, M., 1999, A Comparative Study of Two Flow Conditioners and their Efficacy to Reduce Asymmetric Swirling Flow Effects on Orifice Meter Performance. Trans IchemE, vol. 77, part A, pp. 747-753, November.
- Reader-Harris, M.J., Brunton, W.C., Sattary, J.A., 1997, Instalation Effects on Venturi Tubes, ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting(FEDSM97-3016) June 22-26.
- Seeno, Y., Kawaguchi, N., Tetsuzou, T., 1977, Swril Flow Conical Diffusers, Bulletin of the ISME, vol. 21, n. 151, pp. 112-119.
- SolidWorks Corporation, 2002, SolidWorks 3D Mechanical Design Software, <http://www.solidworks.com/pages/products/3dmech.html>, Concord, MA, USA.
- Shilichting, H., 1979, Boundary Layer Theory, ed. McGraw- Hill Book Co. 7<sup>th</sup>. Ed., Nova York.
- Tekriwal, P.K., 1996, Pressure Drop Calculations and Measurements in Converging-Diverging Nozzles. Technical Information Series, GE Research & Development Center, pp. 1-18, November.
- Versteeg, H.K., Malalasekera, W.,1995, An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method, ed. Prentice-Hall, London.

## **VENTURI METER DESIGN ORIENTED BY COMPUTATIONAL SIMULATION: Flow Straightner, Throat Geometry and Fluid Influence on Discharge Coefficient.**

**Abstract.** *Flow meter devices based on differential pressure drop elements are largely used in different industrial applications. Among the devices available for pressure drop based flow measurements, Venturi tubes, in spite of its simplicity and low cost advantages, are still of limited use, being restricted to application where accuracy is not the main concern. In this work a numerical study is carried out in order to study two important aspects on Venturi mechanical design: (i) flow conditioners efficiency and, (ii) throat geometry and flow influence on the pressure drop. With respect to the flow conditioners, two different types are considered: The Etoile conditioner and a New type of conditioner with a coaxial design. For each conditioner, the effect of the disturbance upstream of the primary element is studied, by means of absolute and relative efficiency parameters computed after a CFD simulation. The results obtained were compared both to experimental and numerical data from other similar works. For the New conditioner proposed in this work, a better efficiency than the Etoile type conditioner was verified. With respect to throat geometry, numerical results are presented describing the influence of different configurations on the Venturi pressure drop using water as fluid flow.*

**Keywords:** *Flow, Venturi, Simulation, CFD, Conditioner.*