

SIMULAÇÃO DO PERFIL DE VELOCIDADES E PRESSÃO EM UM MEDIDOR DE VAZÃO TIPO VENTURI POR MEIO DE UM SOFTWARE DE SIMULAÇÃO CFD

A. B. de ALMEIDA ¹, C. I. YAMAMOTO ², L. F. L. LUZ JR. ²

¹ Universidade Federal do Paraná, Escola Piloto de Engenharia Química da UFPR

¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química

E-mail para contato: amandaborges.almeida@gmail.com

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo simular os perfis de velocidade e pressão do medidor de vazão tipo Venturi do Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná empregando um modelo computacional desenvolvido com a ferramenta CFD, utilizando o programa ANSYS CFX 15.0. O intuito principal é contribuir para as aulas práticas realizadas no curso facilitando o entendimento dos alunos e facilitando o processo de calibração do instrumento, pois, uma vez validada, a simulação representa muito bem a realidade. As vazões experimentais foram obtidas pela diferença entre as pressões em diferentes regiões do tubo Venturi utilizando um manômetro de mercúrio. Os resultados de velocidade, calculados a partir dos dados experimentais, são comparados com os obtidos a partir da simulação, verificando-se baixos erros de medição, menores de 2%. Determinou-se também o melhor tipo de malha para a geometria de um Venturi. Para isso, realizou-se a simulação utilizando uma malha estruturada e uma não estruturada e os resultados de ambas as simulações são comparados com os experimentais. A malha não estruturada apresentou resultados mais precisos, no entanto os tempos de simulação foram bem maiores.

1. INTRODUÇÃO

O medidor Venturi se constitui em um dos métodos mais utilizados para a medição de vazão em tubos, pois têm a vantagem de apresentar baixas perdas de carga porque não ocorre a separação de uma camada de fluido turbulenta, como ocorre na placa de orifício. Outra característica desse medidor é que são auto limpantes, podendo medir a vazão de fluidos com grande quantidade de sedimentos (Fox, 2014).

Assumindo que o escoamento no Venturi é unidimensional e não viscoso, pode-se aplicar a Equação de Bernoulli nas seções em que se localizam as tomadas de pressão. Essa equação prevê um aumento da velocidade do fluido a medida que a seção diminui. Simultaneamente ocorre uma diminuição na pressão ou diminuição na energia potencial do fluido. Combinando a equação de Bernoulli, com a equação da continuidade e conhecendo-se apenas a queda de pressão no dispositivo, a vazão mássica pode ser avaliada para escoamento idealizado incompressível por meio da Equação (1), que expressa a vazão mássica m em kg/s

em função da carga diferencial de líquido Δh (m) correspondente a diferença de pressão do mesmo em um ponto situado antes e no estreitamento (Perry, 1999).

$$m = A_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{1 - \beta^4}} \quad (1)$$

onde S_2 é a área transversal do estreitamento e β o quociente de diâmetros da condução e do estreitamento.

No entanto, é comum na literatura a incorporação de um fator de correção, “ C_D ” (Coeficiente de Descarga), para considerar a não idealidade do sistema, ou seja, as perdas por atrito. Deste modo, obtém-se a equação básica de projeto aplicada quando se tem fluidos incompressíveis:

$$m = A_2 \cdot \rho \cdot C_D \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{1 - \beta^4}} \quad (2)$$

Esse coeficiente depende tanto do número de Reynolds como do parâmetro β , e encontra-se tabulado ou representado graficamente para diferentes tipos de medidores de vazão. Nos Venturis, por não haver contração da *vena contracta* depois da sua garganta os coeficientes de descarga são mais elevados e podem ser considerados independentes de β (Bird, 2004).

ANSYS CFX é um software de Fluidodinâmica Computacional, que combina um solucionador avançado com capacidades poderosas de pré e de pós-processamento. Ele inclui um solver confiável e robusto, a integração completa de definição do problema, análise e apresentação de resultados e um processo de configuração intuitiva e interativa. (CFX User's Manual).

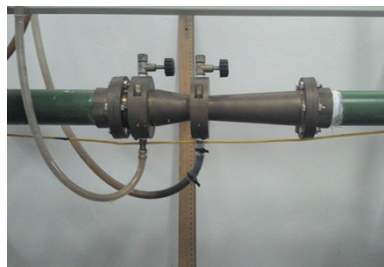
Neste trabalho, as simulações numéricas foram realizadas através do código comercial CFX, com respaldo da licença de uso junto ao fornecedor ANSYS, com o intuito de determinar as particularidades do escoamento no interior que um medidor de vazão do tipo Venturi. Deste modo, será possível contribuir para as aulas práticas realizadas no curso e os estudantes terão a oportunidade de observar o que ocorre no interior do instrumento como, por exemplo, a conservação de energia. Além disso, também se pretende diminuir os gastos e tempo com experimentos que tem como objetivo a calibração do Venturi, já que isso será possível fazer empregando a simulação.

Apesar de ser um exemplo que pode ser considerado simples, não se encontrou muitos trabalhos na literatura que comparam resultados de CFD e dados experimentais em medidores tipo Venturi. Dias *et al.* (2009) validou, por meio de ensaio experimental, o modelo computacional criado com o CFD de um tubo Venturi do Laboratório Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas da Universidade Federal de Itajubá. Esse autor empregou malhas não estruturadas e variou o refinamento das mesmas. Além disso, realizou simulações alterando o modelo de turbulência. Esse autor comparou vazões e os erros foram menores de 2%. Sendo que a malha mais refinada e o modelo de turbulência k- ϵ foram os que apresentarão melhor precisão dos resultados (erro de apenas 1,6%).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A instalação experimental é simples e consta de um Venturi e de um manômetro de mercúrio conectado no início do cone convergente e na garganta do instrumento. A medida de pressão é possível através da utilização de anéis piezométricos. Por meio de uma bomba centrífuga, bombeia-se água pela tubulação e, variado a potência da bomba, é possível variar a vazão que circula pelo instrumento. Na Figura 1 é possível observar o módulo experimental:

Figura 1 – Instalação experimental



A razão entre os diâmetros da obstrução e da canalização (β) é 0,6. Sabendo que o diâmetro da canalização é 40,5 mm, sabe-se que o diâmetro da obstrução, D_2 , é 24,3mm. O comprimento da garganta, medido no laboratório, é de 25 mm. Além disso, com os valores da angulação do cone convergente de entrada de 21° e divergente de saída de 14° , é possível reproduzir com exatidão a geometria do Venturi. O coeficiente de descarga deste Venturi, necessário na simulação para o cálculo das vazões (Equação 2), já foi determinado previamente e é igual a 0,9706.

A geometria foi feita no programa ICEM CFD 15.0, software do pacote ANSYS, respeitando as dimensões do tubo Venturi cujo perfil de velocidades e pressões se deseja conhecer e, com o mesmo programa, criou-se uma malha estruturada (Figura 2) utilizando o recurso de “blocagem”. Além disso, com o intuito de verificar o melhor tipo de malha para essa simulação, criou-se uma malha não estruturada utilizando os recursos do mesmo software. Os detalhes dessa malha podem ser observados na Figura 3.

A malha estruturada da Figura 2 possui 252720 nós e 24316 elementos e a não estruturada da Figura 3 possui 69790 nós e 386463 elementos.

Figura 2 – Malha estruturada (Malha 1)

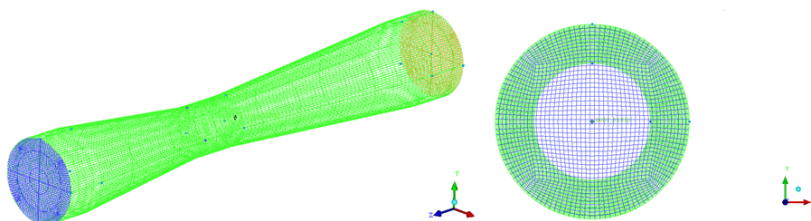
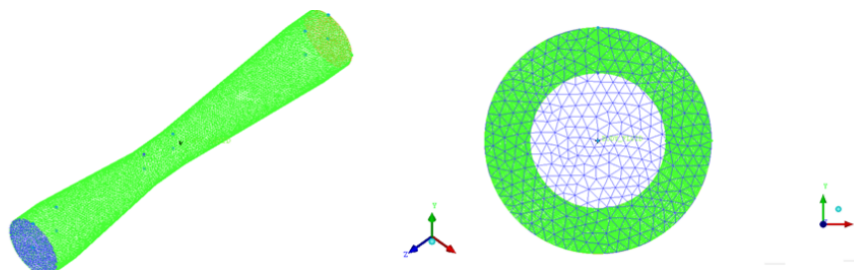


Figura 3 – Malha não estruturada



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, é possível observar os resultados de vazão e velocidades na garganta determinadas experimentalmente. Esses dados representam as médias dos pontos medidos experimentalmente, tomados em quadruplicata.

Tabela 1 – Resultados experimentais

Ponto	Δh (m)	ΔP (N/m ²)	m (kg/s)	v_1 (m/s)	v_2 Experimental (m/s)
1	0,0120 ± 0,0006	117,3668	0,2232	0,1738	0,471
2	0,0280 ± 0,0006	273,8560	0,3409	0,2654	0,719
3	0,0550 ± 0,0009	537,9314	0,4778	0,3720	1,008
4	0,0930 ± 0,0022	909,5930	0,6213	0,4837	1,311
5	0,1470 ± 0,0011	1437,7438	0,7811	0,6082	1,648

Para a simulação definiu-se como fluido a água. As propriedades do fluido já estão pré-definidas no banco de dados do programa. Como condições de contorno definiram-se as vazões mássicas que foram determinadas experimentalmente. Sendo assim, definiram-se as fronteiras de entrada, saída e de parede. Considerou-se o sistema isotérmico com uma temperatura de 25°C e como modelo de turbulência definiu-se o k-epsilon (padrão), que é um modelo de turbulência semi-empírico com turbulência de baixa intensidade (5%). Na Tabela 2 é possível observar os resultados da simulação com os respectivos tempos e erros percentuais.

Tabela 2 – Resultados da simulação

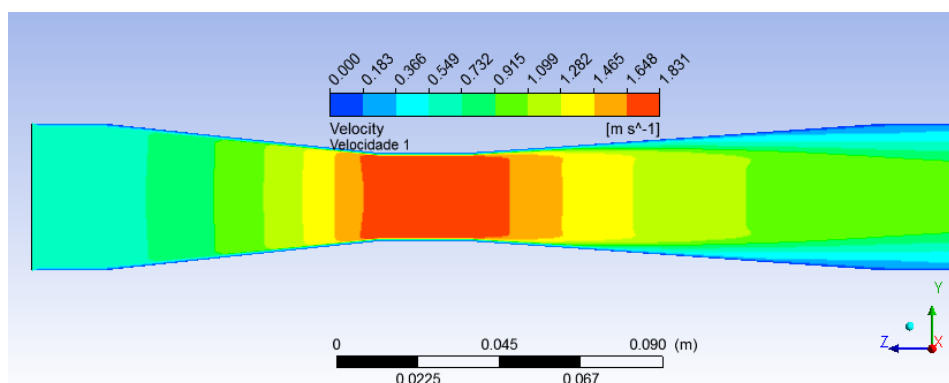
Ponto	v_2 CFX Malha 1 (m/s)	Tempo (s)	Erro 1 (%)	v_2 CFX Malha 2 (m/s)	Tempo (s)	Erro 2 (%)
1	0,497	403	1,371	0,473	437	0,859
2	0,744	257	1,595	0,740	544	0,393
3	1,042	244	1,664	1,038	436	0,716
4	1,360	229	1,636	1,357	361	1,012
5	1,739	228	1,575	1,737	338	1,295

Analisando a Tabela 2 é possível observar que os resultados obtidos com a simulação são bem parecidos com os experimentais, pois se obteve um erro máximo de 1,66%, comprovando a eficácia dos resultados obtidos por CFD. Observa-se também, que a malha não estruturada fornece resultados mais precisos, o que já se esperava, pois esse tipo de malha se adapta mais facilmente à geometria, no entanto os tempos de simulação são bem maiores (praticamente o dobro). Portanto, analisando a Tabela 2, torna-se evidente a vantagem de uma malha estruturada: os tempos de simulação são bem menores.

Observa-se também que quanto maior a vazão, maior o erro para o caso da malha não estruturada. Para verificar se esse maior erro é devido à intensidade de turbulência repetiu-se a simulação para os pontos 4 e 5 empregando uma intensidade de turbulência elevada (10%), porém os erros continuaram elevados: 1,56 e 1,43% respectivamente. Portanto, os erros mais elevados são devido aos maiores desvios padrão dos últimos pontos experimentais.

Na seguinte figura é possível observar o perfil de velocidades para o ponto 5 obtido com a malha estruturada:

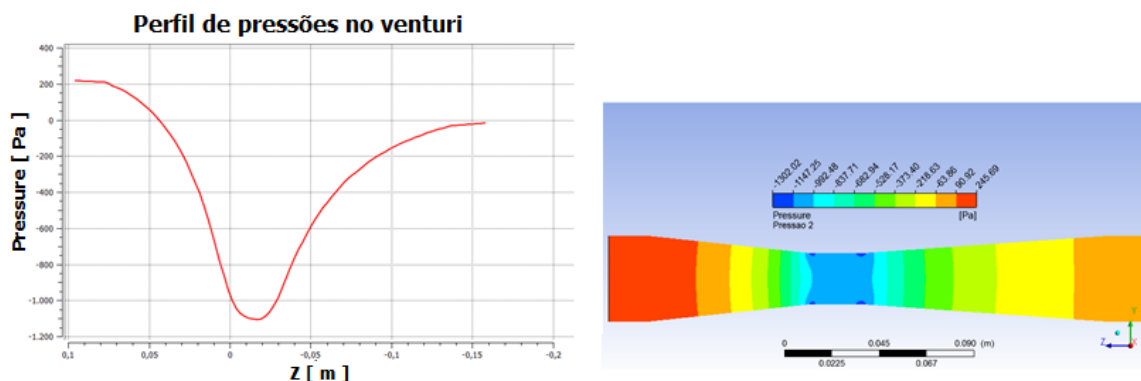
Figura 4 – Perfil de velocidades para a vazão do ponto 5



Na Figura 4 é possível observar como a velocidade é máxima na garganta, e que a medida que a tubulação volta ao diâmetro normal da condução, a velocidade se aproxima da inicial. Essa velocidade na saída do Venturi não é igual à velocidade na entrada devido à perda de carga. Na Figura 5, é possível observar o perfil de pressões onde a perda de carga se torna mais evidente.

Comparando as Figuras 4 e 5 é possível observar claramente a conversão de energia imposta pela equação de Bernoulli. Na seção convergente, antes da garganta, ocorre conversão de energia de pressão em energia cinética, pois a restrição de área provoca a aceleração do fluido a custa da sua energia de pressão. Já na seção divergente, energia cinética é convertida em energia de pressão, ocorrendo a desaceleração do fluido devido ao aumento da seção transversal da tubulação.

Figura 5 – Perfil de pressões para a vazão do ponto 5



4. CONCLUSÕES

A simulação do Venturi do laboratório de Engenharia Química da UFPR por meio de um software de CFD apresentou resultados bastante satisfatórios, com erros menores de 2%, sendo esses resultados condizentes com os já reportados na literatura. Portanto, será possível utilizar as simulações como uma ferramenta didática durante as aulas práticas do curso, já que é possível observar com facilidade as conversões de energia cinética e de pressão. Além disso, as simulações poderão auxiliar o processo de calibração do instrumento diminuindo os gastos e tempo com experimentos.

A malha não estruturada representou melhor a geometria, com erros menores de 1,3%. No entanto, os tempos de simulação para este tipo de malha foram maiores, tornando evidente a vantagem de se utilizar uma malha estruturada, já que os tempos e recursos computacionais exigidos são menores.

Para a malha não estruturada, os erros aumentaram à medida que se aumentou a vazão. Variou-se a intensidade de turbulência, mas os erros continuaram elevados indicando que essa discrepância é devido aos maiores desvios padrão nos últimos pontos experimentais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. *Fenômenos de transporte*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004
- DIAS, A.; SILVA F. das G. B. da; TIAGO FILHO, G. L. Estudo da Distribuição da Velocidade em Tubo Venturi Utilizando medidas Experimentais e Técnicas de CFD. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.14, p. 81-92, 2009.
- FOX, R. W. *Introdução a mecânica dos fluidos*. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2014
- PERRY, R. H.; BENSCHOW, L. R.; BEIMESCH, W. E., et al. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Nova Iorque: Editora McGraw-Hill, 2008.