

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO DE AR ATRAVÉS DE UMA VÁLVULA
BORBOLETA**

Carlos Alberto Chaves, chaves@unitau.br

Eloir Miguel, eloir.miguel@yahoo.com.br

Ana Maria Lucas Machado, plocad@uol.com.br

José Rui Camargo, rui@unitau.br

Antonio Faria Neto, antfarianeto@gmail.com

Universidade de Taubaté, Programa de Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica, www.unitau.br

F4 – PROJETO DE AR CONDICIONADO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

Resumo. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento do escoamento de ar dentro de uma válvula borboleta utilizando as técnicas de dinâmica de fluidos computacional (CFD), para um regime laminar, mediante o uso do software comercial CFX versão 12. Válvula borboleta é utilizada principalmente para o controle ou bloqueio de grandes taxas de fluxo de gases ou líquidos em baixas pressões. Foi utilizado como modelo, a geometria e condições de contorno do projeto de uma válvula borboleta industrial. Os resultados obtidos podem ajudar no projeto de sistema de válvula borboleta, buscando-se alternativas para diminuição de custos no sistema de válvula borboleta.

Palavras-chave: Válvula borboleta, Simulação computacional, Fluxo Laminar. Escoamento de ar

1. INTRODUÇÃO

Com frequência, as tubulações dispõem de dispositivos que permitem regular a vazão transportada, ou até mesmo interromper o escoamento. Tais dispositivos são comumente chamados de válvulas de borboleta, válvula de gaveta, registro globo etc.

Quando totalmente abertas, as válvulas não produzem alterações substanciais ao escoamento, porém, quando parcialmente fechadas, provocam perdas de carga consideráveis.

Válvulas de borboletas, de larga aplicação em indústrias, são utilizadas principalmente para o controle ou bloqueio de grandes taxas de fluxo de gases ou líquidos em baixas pressões. em quaisquer diâmetros, na maioria das tubulações de ar, água, óleo e líquidos em geral, desde que não sejam muito corrosivas nem deixem passar muitos sedimentos ou que tenham grande quantidade de sólidos em suspensão.

Davis e Stewart (2002) estudaram modelos de fluidodinâmica computacional para aplicação no desempenho das válvulas de controle, utilizadas em indústrias. O objetivo da modelagem foi determinar um valor para o coeficiente de vazão da válvula que promovesse o melhor desempenho dessa estrutura. Os autores concluíram que no estudo numérico apresentado, ficou comprovada a grande utilidade da CFD para a análise relativamente complexa em 3-D no estudo de fluxos e desenvolvimento de válvulas de controle.

Devido ao grau de relevância do tema, o objetivo deste artigo é analisar as características hidráulicas do escoamento laminar de ar em termos de campos de velocidades e pressão em um modelo de válvula borboleta usando a dinâmica de fluidos computacional.

2. MODELO FÍSICO E MATEMÁTICO

2.1. Descrição do modelo físico

A Figura 1 ilustra o arranjo foco deste estudo, onde pode se verificar a válvula borboleta colocada em uma tubulação passando água. As dimensões utilizadas são compatíveis com as dimensões de uma válvula borboleta industrial, conforme Figura 2 (EKC, 2013).

2.2. Descrição do modelo matemático

O modelo matemático que governa o comportamento fluidodinâmico da válvula borboleta em estudo está constituído pela equação de continuidade, pela equação da quantidade de movimento, aplicadas a um escoamento laminar, isotérmico, tridimensional, incompressível, de um fluido viscoso, no caso ar, com propriedades físicas constantes (BIRD, STEWART E LIGHTFOOT, 2004).

O sistema de equações solucionadas pela dinâmica de fluidos computacional são as equações de Navier-Stokes em sua forma conservativa e laminar, isotérmico e em estado estacionário (VERSTEEG E MALALASEKERA, 1995).

O fluido pode ser considerado incompressível (vide Tabela 1). A temperatura de entrada do ar como fluido é 25°C.

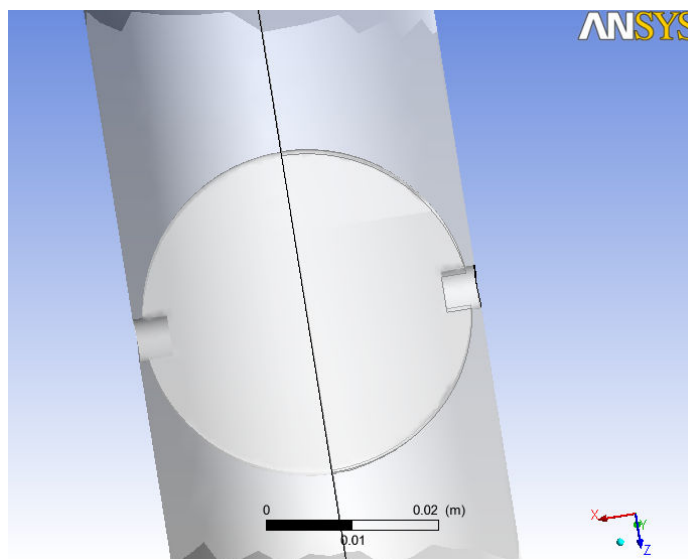


Figura 1. Modelo de válvula borboleta utilizado.



Figura 2. Válvula borboleta industrial, Fonte: EKC (2013).

Tabela 1. Características do fluido ar utilizado.

Característica	Valor
Densidade [kg m^{-3}]	997
Capacidade térmica específica [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]	4181,7
Pressão de referência [atm]	1
Temperatura de referência [C]	25
Viscosidade dinâmica [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$]	$8,899 \times 10^{-4}$
Condutividade térmica [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]	0,6069

3. MÉTODO

3.1. Ferramenta computacional utilizada e computador

O software comercial CFX, em sua versão 12, é um programa para a predição de escoamento laminar e turbulento, e transferência de calor, massa e reações químicas, junto com modelos adicionais tais como escoamento multifásico, combustão e transporte de partículas e é baseado no método dos volumes finitos idealizado por Patankar (1980).

O programa CFX consiste de um número de módulos: geometria (Design Modeler), geração da malha (CFX-Mesh), setup do modelo (CFX-Pré), solução (Solver) e Pós-Processamento ou gráfico (CX-Pós) (CFX-12, 2010).

O computador utilizado nas simulações foi do tipo Pentium IV – Intel com 3,2 GHz de processamento e 1500Mb de memória RAM.

3.2. Geometria utilizada

Através do módulo Design Modeler é construído a geometria do problema físico a ser estudado. O Design Modeler é um sistema CAD semelhante ao Auto CAD da Microsoft onde pode-se criar geometrias desde simples tubulações até aviões e submarinos detalhadamente. A geometria elaborada no Design Modeler da válvula borboleta utilizada é mostrada na Figura 3.

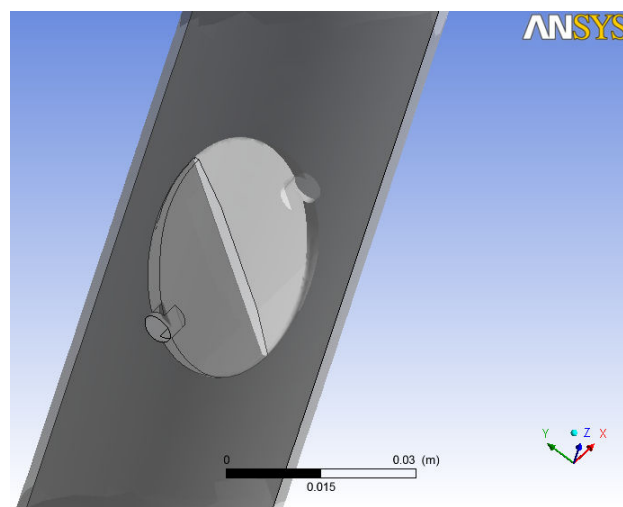


Figura 3. Representação da geometria usando o Design Modeler da válvula borboleta utilizada.

3.3. Malha utilizada

Com a geometria feita, deve-se criar uma malha numérica a fim de que o software resolva numericamente o problema físico. Através do módulo CFX-Mesh é construída a malha do problema físico a ser estudado. O tipo de malha estudada foi estruturada tetraédrica e piramidal. A malha elaborada no CFX-Mesh da válvula borboleta utilizada é mostrada na Figura 4 e a Figura 5 ilustra a malha gerada na válvula borboleta. O refinamento da malha foi obtido após testes com diferentes malhas mostrarem que, a partir deste número de nós, os resultados das simulações se tornaram independentes do tamanho da malha. As malhas utilizadas são apresentadas na Tabela 2

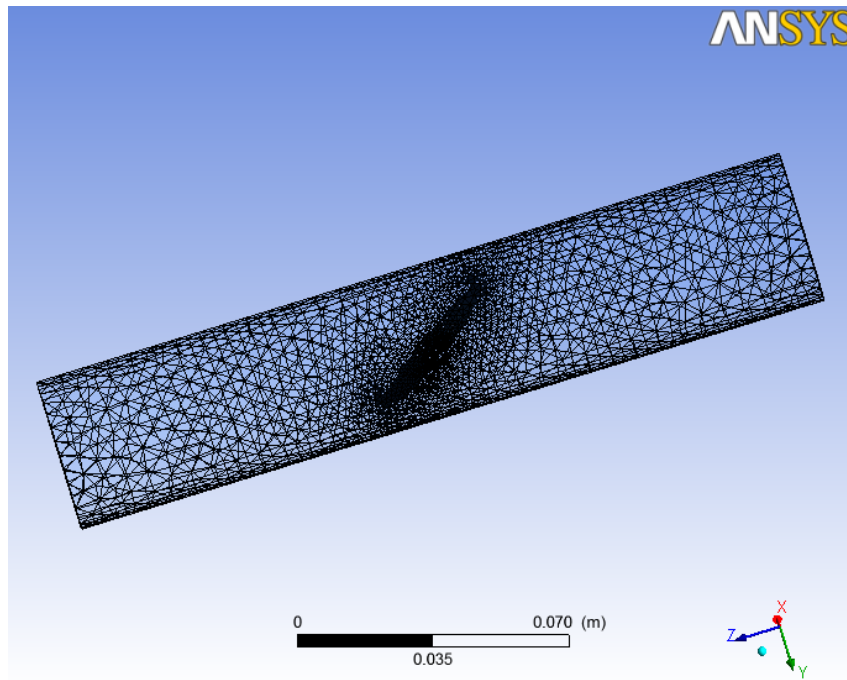


Figura 4. Representação da malha tetraédrica e piramidal da válvula borboleta utilizada.

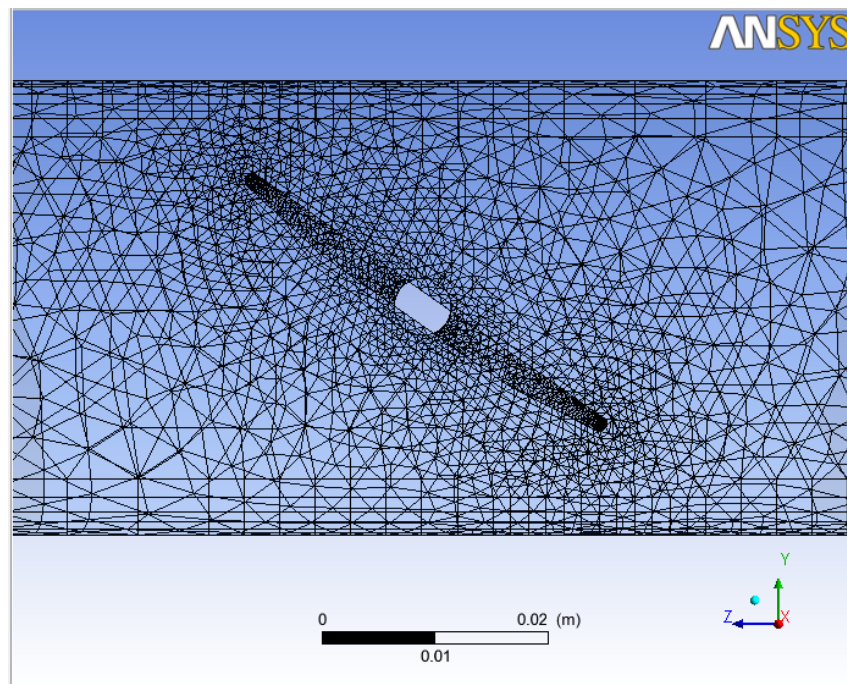


Figura 5. Representação da malha tetraédrica da válvula borboleta utilizada.

Tabela 2. Refinamento das malhas nos domínio da válvula borboleta utilizada.

Número total de Elementos = 81.626
Número total de Tetraedros = 67.530
Número total de Prismas = 12.995
Número total de Pirâmides = 1.101
Número total de Nós = 20.660
Número total de Faces = 7.810

3.4. Condições de Contorno aplicadas às Simulações

As malhas, como apresentadas nas Figuras 4 e 5, estão prontas para definir as condições de contorno. Nesta etapa define-se as condições de contorno bem como as variáveis que deseja-se serem calculadas. A temperatura de entrada do fluido ar é 25°C. A Figura 6 apresenta detalhes das condições na entrada, saída e paredes da válvula borboleta utilizada.

Para o estudo do escoamento de ar através da válvula borboleta, foram fixadas as seguintes condições de contorno aerodinâmicas:

a) Entrada de fluido: Velocidade Normal, especificada a velocidade de entrada do escoamento de água (velocidades obtidas para o regime laminar, conforme Tabela 3).

b) Saída: Pressão Estática, definida o valor da pressão de saída do fluido, devido as condições estudadas.

c) Paredes da tubulação e válvula borboleta: Não Deslizamento, esta opção é relativa a condição em que se considera a velocidade nas paredes iguais a zero.

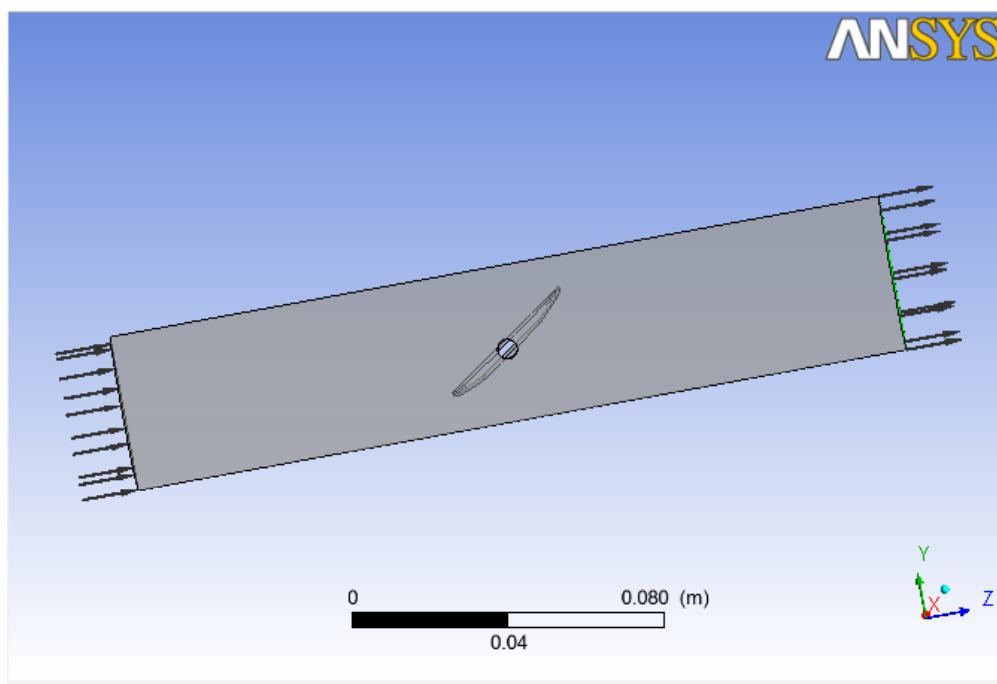


Figura 6. Detalhe das condições na entrada, saída e paredes da válvula borboleta.

Tabela 3. Condições de Fronteira utilizadas.

Condições de fronteira
Paredes e Válvula borboleta: Não deslizamento sobre as paredes (No Slip Wall)
Entrada da tubulação: Escoamento Subsônico a velocidade normal ($v = 0,5\text{m/s}$, $0,4\text{m/s}$, $0,3\text{m/s}$, $0,2\text{m/s}$ e $0,1\text{m/s}$)
Saída da tubulação: Pressão estática relativa = 0 [Pa]

3.5. Condições utilizadas para as simulações

Na definição do modelo se considera o fluxo de ar como fluido. Em relação às simulações, a caracterização do modelo se definiu na etapa de Pré-Processamento do software.

Considerou-se a opção de regime estacionário, devido ao fluido não variar suas propriedades com o tempo. No domínio estudado, especificou-se uma pressão de referência de uma atmosfera (1 atm), o domínio considerado estacionário e para o fluxo laminar.

Para a convergência, o resíduo máximo considerado foi de 1×10^{-4} .

As condições impostas ao domínio do fluido requeridas para se definir a simulação são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Condições utilizadas para as simulações.

Parâmetro	Valor
Tipo de simulação	Estacionário
Advection Scheme	Specified Blend Factor = 0,75
Pressão de Referência	1 atm
Pressão de saída	0 atm
Temperatura	25°C
Transferência de calor	Isotérmico
Critério de convergência	RMS (raiz do desvio quadrático médio)
Resíduo esperado	1×10^{-4}

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a convergência alcançada, os resultados da simulação são apresentados sob a forma de diagrama de pressão e velocidade para diversos cortes na válvula borboleta obtidos pelo software de computação numérica.

As velocidades de entrada ($V = 0,5\text{m/s}$, $0,4\text{m/s}$, $0,3\text{m/s}$, $0,2\text{m/s}$ e $0,1\text{m/s}$), e pressão manométrica nula na saída foram as condições de contorno utilizadas. Os números de Reynolds baseado no diâmetro da tubulação foram respectivamente: $Re = 2182$, 1739 , 1298 , 858 e 422 , correspondentes ao regime laminar.

Através dos diagramas de velocidade e pressão é verificada a existência de regiões de alta pressão, correspondente aos pontos de estagnação, e regiões de baixa pressão ao longo do corpo e em sua traseira. A presença de um gradiente de pressão elevado caracteriza que a maior parte do arrasto sobre a válvula é devido à pressão, conforme os resultados obtidos através da simulação numérica.

4.1. Diagramas de velocidade ao longo da tubulação e da válvula borboleta

A análise dos perfis de velocidade é de grande importância nos estudos das válvulas borboletas, pois através da análise dos diagramas de velocidade pode-se verificar a localização provável da válvula borboleta ao longo da tubulação, necessário à integridade do material utilizado para a construção da tubulação e da válvula (Figura 7). Observa-se a formação de uma região de baixa velocidade próxima a válvula borboleta e também regiões de altas velocidades na região de escoamento de ar.

4.2. Diagrama de pressão ao longo da tubulação e da válvula borboleta

A análise do diagrama de pressão, também como para a velocidade, é de grande importância nos estudos das válvulas borboletas, pois através da análise dos diagramas de pressão pode-se verificar a localização provável da válvula borboleta ao longo da tubulação, necessário à integridade do material utilizado para a construção da tubulação e da válvula (Figura 8). Observa-se a formação de uma região de altas pressões na região frontal ao escoamento e também uma formação de região de baixas pressões na região posterior a válvula.

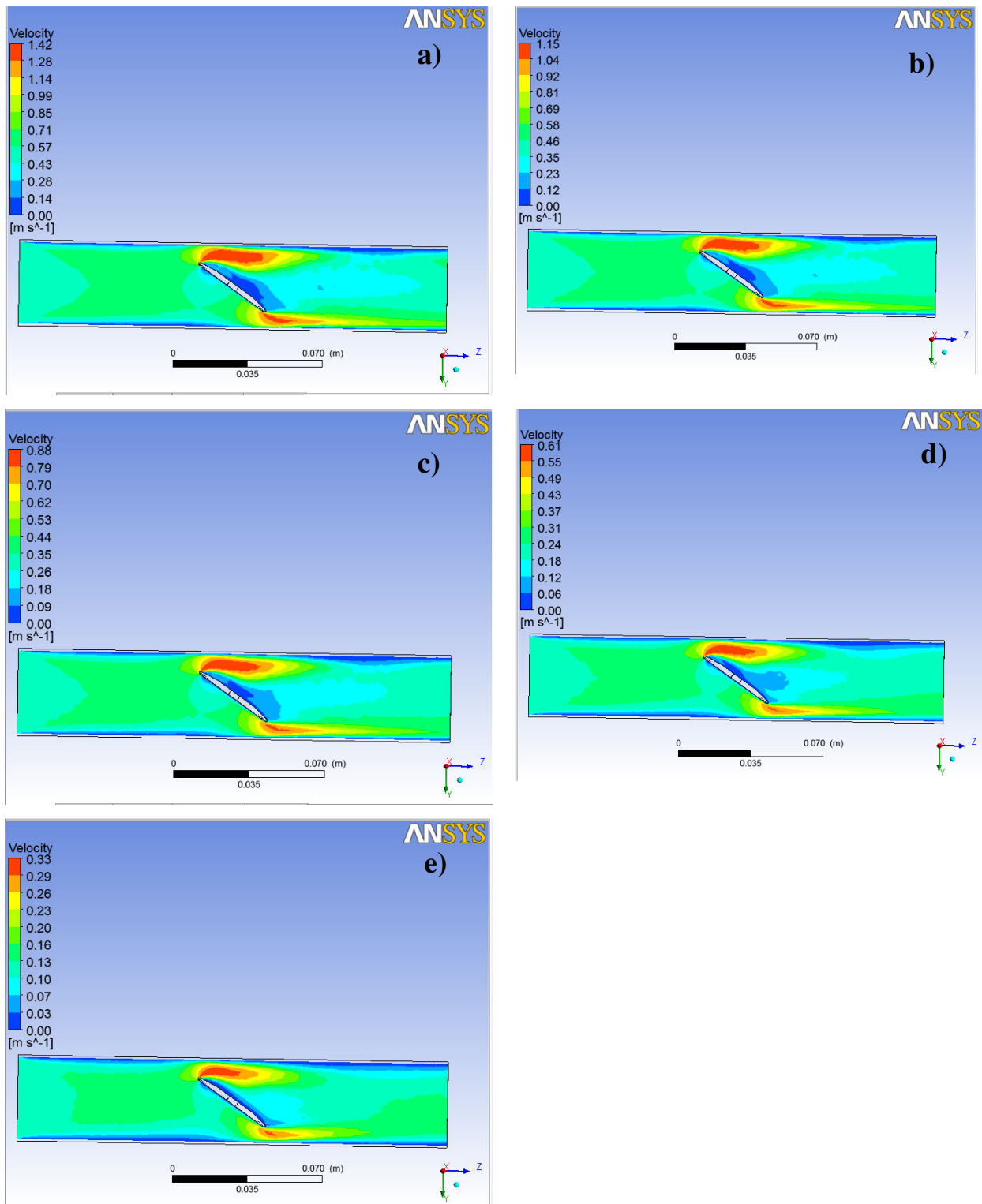


Figura 7. Diagrama de velocidades para a análise da válvula borboleta ao longo da tubulação: a) Velocidade de entrada do ar a 0,5 m/s. b) Velocidade de entrada do ar a 0,4 m/s. c) Velocidade de entrada do ar a 0,3 m/s. d) Velocidade de entrada do ar a 0,2 m/s. e) Velocidade de entrada do ar a 0,1 m/s.

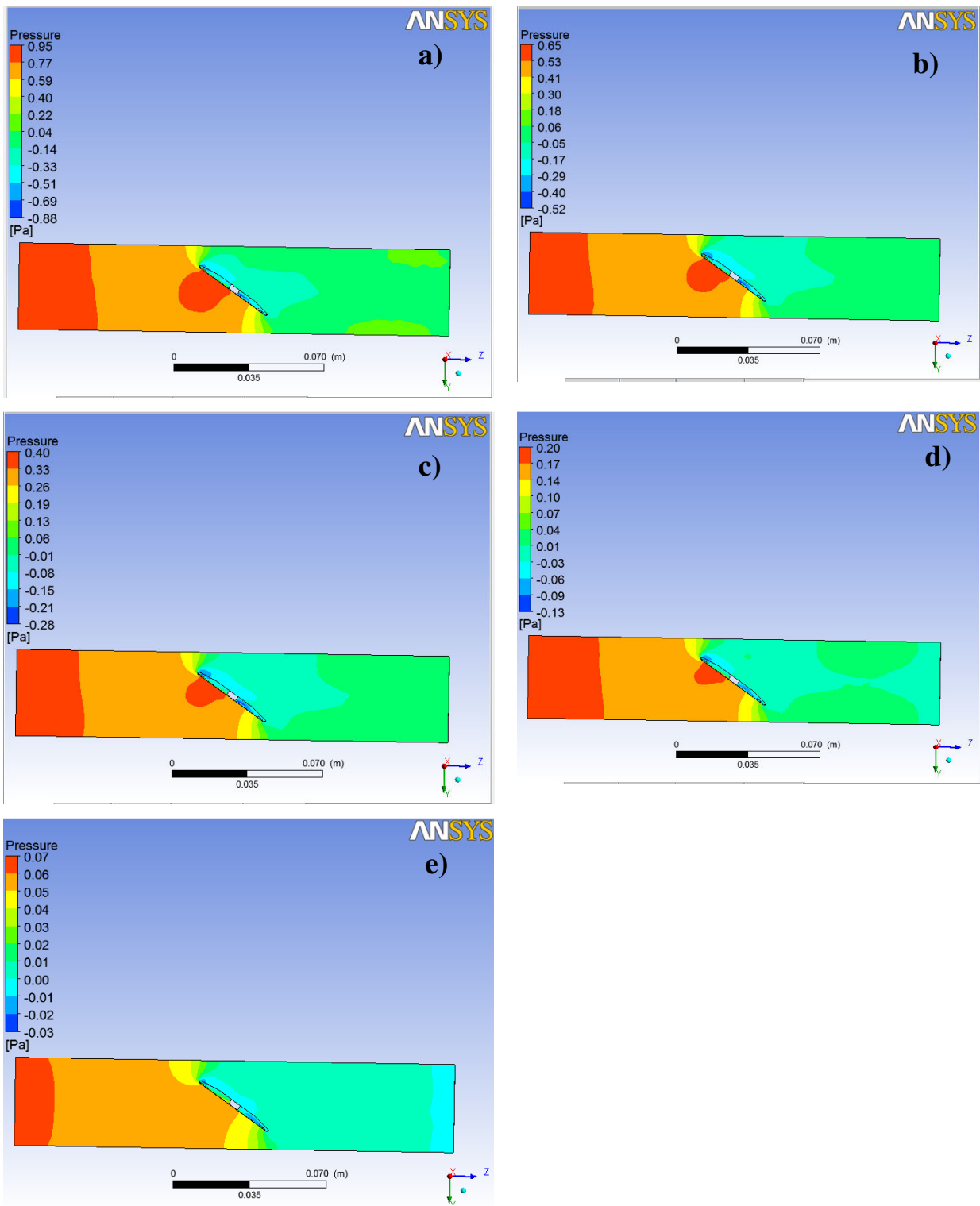


Figura 8. Diagrama de pressões para a análise da válvula borboleta ao longo da tubulação: a) Velocidade de entrada do ar a 0,5 m/s. b) Velocidade de entrada do ar a 0,4 m/s. c) Velocidade de entrada do ar a 0,3 m/s. d) Velocidade de entrada do ar a 0,2 m/s. e) Velocidade de entrada do ar a 0,1 m/s.

5. CONCLUSÕES

Assim, foi possível, através do software comercial ANSYS CFX 12, realizar-se uma simulação computacional com o objetivo de avaliar a influência das velocidades e pressões dos fluidos de um fluxo de ar dentro de uma válvula borboleta utilizando as técnicas de dinâmica de fluidos computacional (CFD), para um regime laminar. O estudo mostrou que a simulação fluidodinâmica é uma importante ferramenta a ser utilizada na elaboração de novos projetos de sistemas envolvendo válvula borboleta.

Os resultados apresentados se basearam em algumas simplificações como o de considerar o escoamento como laminar. Fazer uma análise numérica e considerar o escoamento como turbulento pode melhorar a precisão dos resultados e são informações a serem buscadas em trabalhos futuros.

Ao observar os resultados apresentados pela simulação computacional da válvula borboleta com o auxílio do programa ANSYS CFX, verifica-se que o método numérico empregado proporciona uma análise visual e detalhada de alta qualidade, na medida em que é possível visualizar os fenômenos que ocorrem durante o escoamento dos fluidos.

Algumas recomendações são deixadas para futuros trabalhos que complementam o estudo realizado, como por exemplo, a simulação da válvula considerando várias posições de abertura da válvula borboleta.

6. REFERÊNCIAS

- Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N., 2004, “Fenômenos de Transporte”, LTC editora, 2a edição, Rio de Janeiro.
- CFX-12. User Manual, 2010, “ANSYS-CFX”.
- Davis J. A. and Stewart, M., 2002, Predicting globe control valve performance – Part I: CFD modeling. “Journal of Fluid Engineering”, New York, v. 124, p. 772-777.
- Patankar, S.V., 1980, “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, New York: Hemisphere.
- EKC – Válvulas e Conexões, 2013, Disponível em: < <http://ekc.ind.br/>>. Acesso em: 12.agosto.2013.
- Versteeg, H. K.; Malalasekera, W., 1995, “An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method”, England: Longman Scientific & Technical.

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) SIMULATION OF THE AIR FLOW THROUGH A BUTTERFLY VALVE

Abstract. *This work aims to study the behavior of the air flow inside a butterfly valve using the techniques of computational fluid dynamics (CFD) for a laminar regime, by using the commercial software CFX version 12. Butterfly Valve is used primarily for control or locking of large flow rates of liquids or gases at low pressures. Was used as a model geometry and boundary conditions of an industrial design butterfly valve. The results can help in the design of butterfly valve system, seeking alternatives for reducing costs in the throttle system.*

Keywords: *Butterfly valve, Computational simulation, Laminar flux. Air Flow*