



Tratamento de dados obtidos numericamente simulando sensores de dois fios aplicados a escoamento estratificado em um tubo hermeticamente fechado.

Processing of numerically obtained data by simulating two-wire sensors applied to stratified flow in a hermetically sealed tube

Caroline Andrade Junqueira de Souza*, Paulo Henrique Dias dos Santos[†]

RESUMO

O conjunto bifásico pode assumir várias distribuições no interior do tubo, sendo uma delas o padrão de escoamento estratificado. A caracterização do escoamento é de suma importância para operação e segurança dos projetos e equipamentos, um dos métodos utilizados para essa caracterização são as simulações numéricas. No presente trabalho foi utilizado o software ANSYS CFX para simular um escoamento óleo-ar em uma célula de balanço hermeticamente fechada, variando a velocidade angular do motor, com o intuito de caracterizar o tipo de escoamento e verificar a velocidade superficial do líquido, além de verificar a eficácia do método utilizado para a solução do problema computacional. Com a análise dos resultados obtidos a metodologia se mostrou eficiente ao solucionar o problema e evidenciou a capacidade da simulação numérica em reproduzir o fenômeno de estudo, além disso, com o tratamento dos dados foi observado o padrão de escoamento estratificado, que é o esperado para baixas vazões de líquido e gás.

Palavras-chave: Simulação numérica, Escoamento bifásico, CFD.

ABSTRACT

The biphasic set can assume several distributions inside the tube, one of which is the stratified flow pattern. The characterization of the flow is of paramount importance for the operation and safety of projects and equipment, one of the methods used for this characterization are numerical simulations. In the present work, the ANSYS CFX software was used to simulate an oil-air flow in a hermetically sealed balance cell, varying the angular speed of the engine, in order to characterize the type of flow and verify the surface velocity of the liquid. With the analysis of the results obtained, the methodology proved to be efficient in solving the problem and evidenced the ability of numerical simulation to reproduce the phenomenon of study, in addition, with the data treatment, the stratified flow pattern was observed, which is expected for low liquid and gas flows.

Keywords: Numerical simulation, Two-phase flow, CFD.

* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; carolineandrade@alunos.utfpr.edu.br

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; psantos@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

Escoamento multifásico é caracterizado como o escoamento simultâneo de duas ou mais fases com características físicas distintas, esse tipo de escoamento pode ser encontrado em motores de combustão interna, refrigeradores, geradores de vapor e na extração e processamento de petróleo. Ao longo do escoamento a mistura pode assumir diferentes formas e distribuições no interior do duto, sendo essas distribuições geométricas associadas à geometria do duto, as propriedades físicas dos fluidos e as vazões das fases. (LLANTOY PARRA, 2013). Um desses padrões é o de escoamento estratificado, onde a interface entre o líquido e gás pode ser bem definida, dependendo das velocidades superficiais.

Em certos processos é de grande importância a caracterização dos padrões de escoamento e a detecção de parâmetros como a velocidade superficial e fração volumétrica do líquido e gás, pois o tipo de escoamento determina a segurança e eficiência dos processos e equipamentos. (DA SILVA, 2017). Uma forma de estudar os fenômenos bifásicos é a simulação numérica, onde podem-se obter diversos parâmetros do escoamento e assim evitar condições que causariam danos à tubulação ou o aumento de custos, melhorando os processos de engenharia.

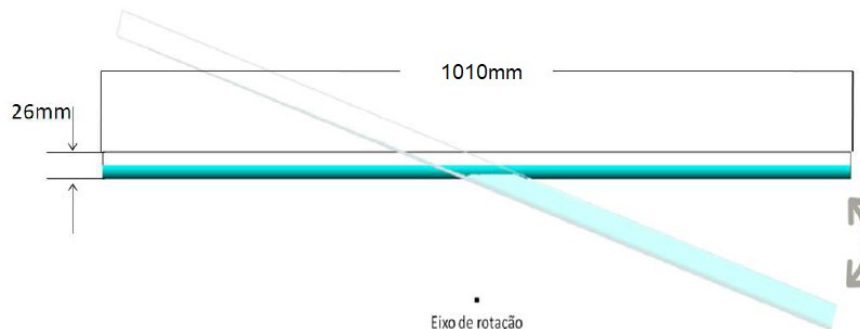
As simulações numéricas podem ser realizadas através de softwares, onde é possível simular o comportamento dos fluidos através da solução de equações de escoamento de fluidos sobre uma região de interesse. Para cada estudo realizado é estabelecido um método, que irá influenciar no resultado final da simulação e consequentemente na análise dos parâmetros desejados, por esse motivo é de suma importância verificar se o método utilizado satisfaz a solução do problema, ou senão por quê? O objetivo principal desse trabalho será caracterizar a obtenção e o tratamento de dados obtidos numericamente simulando sensores de dois fios em um escoamento estratificado em um tubo completamente fechado, utilizando o software ANSYS CFX, além de avaliar se o método foi eficaz para a solução do problema.

2 MÉTODO

Nesta seção será apresentada a metodologia numérica do presente trabalho. Inicialmente será relatada a primeira etapa do processamento onde é definida a configuração do problema analisado e em seguida o pós-processamento dos dados obtidos através da simulação.

Utilizando a ferramenta de software de dinâmica de fluidos computacional (CFD) ANSYS CFX, deram-se início as realizações de simulações em uma célula de balanço com os fluidos ar e óleo, variando uma das condições de operação, sendo ela a velocidade angular do motor. A célula de balanço que foi utilizada consiste em um tubo hermeticamente fechado, cujas dimensões eram de 1010 mm de comprimento e 26 mm de diâmetro interno, a simulação teve início com a célula na horizontal, com a fase líquida na região inferior do tubo e a fase gasosa na parte superior, como mostrado na Figura 1.

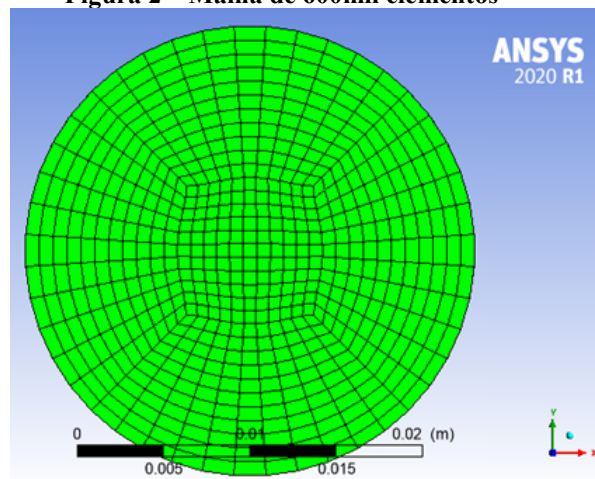
Figura 1 – Esquema da geometria do tubo e movimentação da célula



Fonte: Autoria própria (2021)

Para modelar o problema e dar início a simulação foi necessária a construção de uma malha, que divide a geometria em elementos menores e mais simples, proporcionando a análise contínua. No programa ICEM foi criada a geometria e a partir dela, a malha numérica. A malha foi composta de elementos estruturados possuindo aproximadamente 600 mil elementos. A Figura 2 apresenta uma imagem ilustrativa da malha.

Figura 2 – Malha de 600mil elementos



Fonte: Autoria própria (2021)

As propriedades dos fluidos utilizados, além da temperatura e pressão de operação são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades dos fluidos e condições de operação

Fluido	Pressão (bar)	Temperatura (°C)	Densidade (kg m ⁻³)	Viscosidade (cP)
Ar	1	23	1,777	0,01835
Óleo	1	23	864,1	56

Fonte: Autoria própria (2021).

Escoamentos bifásicos exigem modelos matemáticos que analisem o comportamento de cada fase, sendo utilizado o Modelo de Dois Fluidos, também conhecido como Euler-Euler, que apresenta um custo computacional reduzido e expressa-se aplicando médias sobre as equações locais de transporte, que resultará na suavização da presença das fases de modo que as fases passam a ser tratadas como um meio contínuo. (STEL, 2019). As equações 01 e 02 descrevem a continuidade e quantidade de movimento para cada fase

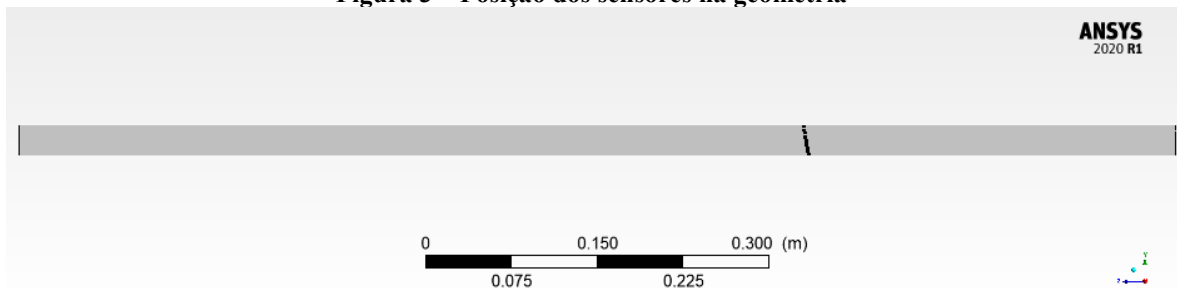
respectivamente, onde na Eq. 1 o termo (i) é a variação da massa da fase em um volume de controle, (ii) o fluxo de massa da fase através do volume de controle e (iii) a troca de massa interfacial, além da fração volumétrica α_i como multiplicador que pondera a probabilidade de ocorrência da fase i . Na equação 2 as acelerações temporal (iv) e convectiva (v) da fase i são balanceados pelo gradiente de pressão (vi), pelo tensor de tensões devidas a efeitos laminares e turbulentos (vii), pela força gravitacional (viii), pelos efeitos Coriolis (ix) e centrífugo (x), e pela troca de quantidade de movimento devida às tensões interfaciais (xi) e à troca de massa através da interface (xii). (STEL, 2019). O sobrescrito X indica uma média de fase ponderada pela fração volumétrica e o X_ρ indica uma média sobre variáveis vetoriais.

$$\frac{\partial \alpha_i \rho_i^X}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_i \rho_i^X \vec{V}_i^{X\rho}) = \vec{\Gamma}_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial \alpha_i \rho_i^X \vec{V}_i^{X\rho}}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_i \rho_i^X \vec{V}_i^{X\rho} \vec{V}_i^{X\rho}) = -\nabla(\alpha_i p_i^X) + \alpha_i (\mu_i^X + \mu_{i,t}^X) \cdot \nabla^2 \vec{V}_i^{X\rho} + \alpha_i \rho_i^X \vec{g}^{X\rho} - \alpha_i \rho_i^X (\vec{\Omega}^{X\rho} \times \vec{V}_i^{X\rho}) - \alpha_i \rho_i^X \vec{\Omega}^{X\rho} \times (\vec{\Omega}^{X\rho} \times \vec{r}^{X\rho}) + \vec{M}_i + \vec{V}_i^m \Gamma_i \quad (2)$$

Com a malha e condições iniciais de operação definidos foi realizada a inicialização do problema. A solução é definida como transiente, permitindo a análise do escoamento com o tempo. O modelo de turbulência utilizado é o SST (*Shear Strees Transport*) e o modelo de tensão superficial é o CSF (*Continuum Surface Force*). A célula inicia o movimento na posição horizontal, com a razão de preenchimento do líquido de 50% em relação ao gás. A rotação da célula, pressão, velocidade angular do motor e outros parâmetros são definidos por expressões dentro do CFX – Pre e então o problema é resolvido numericamente no Ansys CFX Solver. Com o fim da simulação, é necessário analisar e visualizar os resultados, para tal foi efetuado um pós-processamento onde foram obtidos os dados das velocidades superficiais de líquido e gás em cada instante de tempo. Esses valores foram obtidos em uma linha simulando a posição dos sensores de dois fios, como mostrado na Figura 3. Utilizando o programa MATLAB, é possível tratar esses dados e determinar o perfil de velocidade do líquido, tornando possível a análise dos padrões de escoamento.

Figura 3 – Posição dos sensores na geometria



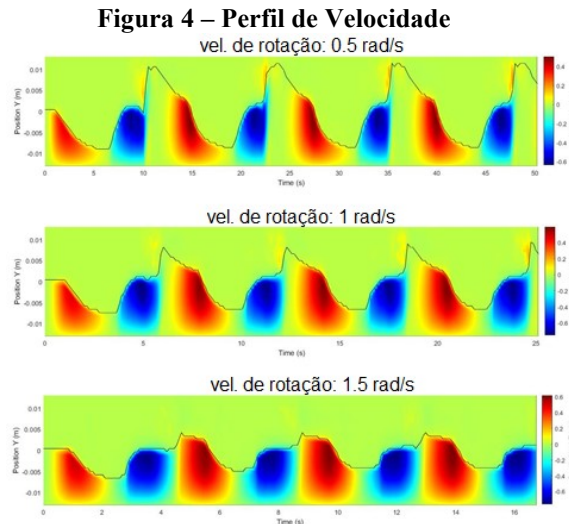
Fonte: Aatoria própria (2021).

3 RESULTADOS

Foram realizadas três simulações numéricas com os fluidos óleo e ar, com razão de preenchimento de 50%, onde o ângulo de rotação foi mantido em $7,5^\circ$ e a velocidade de rotação variava entre 0,5, 1 e 1,5 rad/s.

Utilizando o pós-processamento do Ansys, o CFD-Post, foi gerada uma linha na posição dos sensores, como mostrado na Fig. 3, nessa linha é possível obter variáveis da simulação em cada instante de tempo para

serem analisadas. A variável analisada foi: a velocidade superficial do líquido. Esses dados foram extraídos no formato de um arquivo Excel e o mesmo foi processado por uma função no programa MATLAB, onde foi plotado um gráfico do perfil de velocidade do líquido, como mostrado nas Figuras 4.



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a análise dos resultados foi possível observar o padrão de escoamento estratificado, onde as fases escoam separadamente, a velocidade de uma fase será de igual módulo e oposta a outra fase, ou seja, são simétricas. Isso ocorre devido ao fato de que, em uma célula hermeticamente fechada, a conservação da massa deve ser mantida, e a ausência de uma fase representa a presença da outra.

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi apresentada a metodologia numérica, utilizando o ANSYS CFX, para a caracterização e o tratamento de dados obtidos numericamente simulando sensores de dois fios em um escoamento estratificado em um tubo hermeticamente fechado. Com a presente análise foram obtidos os dados do padrão da velocidade superficial do líquido para cada caso, que evidenciam o modelo de escoamento estratificado, demonstrando assim que a metodologia se mostrou viável para simular o problema proposto e o tratamento dos dados demonstrou eficiência ao identificar o padrão de escoamento estratificado. Além de fornecer outros resultados para futuras análises e comparações com resultados experimentais, o estudo comprova a eficácia das simulações numéricas para a análise de comportamento de fluidos, desde que o método utilizado seja adequado ao problema inicial.



AGRADECIMENTOS

Este trabalho conta com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Bolsa de Iniciação Científica do CNPq e da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná.

REFERÊNCIAS

LLANTOY PARRA, V. E. **Escoamento bifásico líquido-gás em golfadas com leve mudança de direção**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DA SILVA, Marco Jose et al. Multiphase flow instrumentation and measurement research in Brazil. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 20, n. 2, p. 57-62, 2017.

STEL, H. **Estudo Numérico E Experimental Do Escoamento Bifásico Líquido-Gás em um Rotor Centrífugo**. Tese (Doutorado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.