

Simulação numérica de um escoamento de duas fases em uma cavidade quadrada com tampa deslizante.

Numerical simulation of a two-phase flow in a square cavity with a sliding lid.

RESUMO

A análise do comportamento de um escoamento bifásico em uma tubulação em CFD é de grande importância para a indústria. Pois através destas simulações pode-se economizar tempo e dinheiro, com este método em vez de se criar vários protótipos do produto o que é caro e leva tempo pode-se criar protótipos computacionais para descobrir como o produto deve reagir em diversas situações. Com os dados destas simulações pode-se criar apenas um protótipo físico mais próximos da realidade que atenda às necessidades impostas pelo projeto. Neste projeto analisa-se o comportamento do escoamento de água, óleo e da mistura heterogênea água e óleo em uma cavidade quadrada com tampa deslizante.

PALAVRAS-CHAVE: CFD, Método de Volumes Finitos (*FVM*), Método das Diferenças Finitas (*FDM*), Método de Elementos Finitos (*FME*), método *VOF* (*Volume Of Fluid*).

ABSTRACT

The analysis of the behavior of a two-phase flow in a CFD pipe have a great importance to the industry. Because through these simulations we can save time and money. with this method instead of creating several product prototypes which is expensive and takes time we can create computational prototypes to find out how the product should react in various situations. With the data from these simulations we can only create one physical prototype closer to reality that meets our needs. In this project we analyze the behavior of oil water flow and heterogeneous water and oil mixture in a square cavity with sliding lid.

KEYWORDS: CFD, Finite Volume Method (*FVM*), Finite Difference Method (*FDM*), Finite Element Method (*FME*), *VOF* (*Volume Of Fluid*) method.

Pedro Vicente Cornacini
pedrovicentecornacini@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio – Paraná, Brasil

Marcos Antonio de Souza Lourenço
mlourenco@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio – Paraná, Brasil

Recebido: 18/10/2020

Aprovado: 19/10/2020

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (*CFD*) teve origem a partir da combinação de duas disciplinas: a mecânica dos fluidos e o cálculo numérico juntamente com a tecnologia dos computadores. A dinâmica dos fluidos computacional é a área que trata da simulação numérica de escoamentos de fluidos, transferência de calor e fenômenos relacionados. Os fluidos são regidos pelas equações diferenciais (*EDP*) parciais de conservação da massa, de quantidade de movimento e de energia. Essa disciplina surgiu da impossibilidade de solução analítica destas (*EDP*) para aplicação em problemas práticos. Numericamente, as mesmas são resolvidas na forma de um conjunto de equações algébricas, oriundo da discretização do modelo matemático para o problema físico.

Neste trabalho serão estudados o escoamento de água óleo e da mistura heterogeneia água e óleo em uma cavidade quadrada com tampa deslizante, utilizando *CFD*. Na discretização espacial vamos utilizar o Método de Volumes Finitos (*FVM*). Em seguida é apresentada uma síntese deste e dos outros dois principais métodos de discretização numérica, o Método das Diferenças Finitas (*FDM*) e o Método de Elementos Finitos (*FME*).

MÉTODO DE DIFERENÇAS FINITAS

O método das diferenças finitas é o mais antigo e fácil para as geometrias simples. O seu ponto de partida é a equação de conservação em forma diferencial. O domínio da solução é coberto por uma grade e em cada ponto da grade a equação diferencial é aproximada substituindo as derivadas parciais por aproximações em termos dos valores nodais das funções. Isso resulta em uma equação algébrica por nó da malha, na qual o valor da variável neste é um determinado número e os nós vizinhos aparecem como desconhecidos. O método das diferenças finitas pode ser aplicado para qualquer tipo de malha. No entanto, a grande maioria das aplicações conhecidas utilizam uma malha estruturada (Ferziger, 1995).

A desvantagem do método das diferenças finitas é que a conservação não é imposta a menos que cuidados especiais sejam tomados. A restrição de ser aplicado apenas em casos geometricamente simples é uma desvantagem significativa para problemas de geometria complexa.

MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Neste método, a sua solução é aproximada por uma função de forma linear ou de ordem maior, avaliada em cada elemento de discretização de modo a garantir a continuidade da solução através dos limites do elemento. O domínio é dividido em um conjunto de volumes discretos ou “elementos finitos”, cuja as formas geométricas em duas dimensões são triângulos ou quadriláteros, enquanto em três dimensões são tetraedros ou hexaedros. As equações para cada elemento são multiplicadas por uma função peso, de modo a serem integradas em todo o domínio (Custodio e Arndt, 2017).

As vantagens deste método são a sua capacidade de lidar com geometrias arbitrárias e a relativa simplicidade de sua análise matemática, além de possuir

propriedades de otimização para certos tipos de equações. A principal desvantagem apresentada por este método é devido ao fato que a estrutura da matriz, resultante das equações lineares, não é tão bem estruturada quanto aquelas para malhas estruturadas, dificultando a aplicar soluções mais eficientes para a solução do problema.

MÉTODO DE VOLUMES FINITOS

Este método apresenta a forma integral das equações de conservação como ponto de partida, sendo que o domínio contínuo da solução é discretizada em um número finito de volumes de controle.

As equações de balanço, geralmente equações diferenciais parciais (PDE) são resolvidas para cada volume de controle. Para isso geralmente são utilizadas funções lineares para a interpolação das variáveis no volume, sendo que as coordenadas para um dado volume de controle na malha podem ser independentes do sistema fixo de coordenadas global além disso o (FMV) é inerentemente conservativo uma vez que é construído do balanço do fluxo em cada volume de controle para as diferentes quantidades envolvidas no escoamento.

Apesar de ser um método de implementação relativamente simples, pode acomodar praticamente qualquer tipo de malha, incluindo aquelas para geometria complexas. Uma desvantagem do FMV está no fato de que métodos acima da segunda ordem são mais difíceis de se resolver em três dimensões por FMV do que por FDM (Osses, 2016).

METODOLOGIA

MODELAGEM MATEMÁTICA

As equações de Navier-Stokes são resolvidas em todo o domínio de cálculo. Estas equações podem ser escritas na forma tensorial, como:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{f_i}{\rho} \quad (1)$$

O escoamento simulado também deve respeitar a equação da conservação de massa, mostrada na sua forma tensorial como:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

Onde as componentes u_j, u_i são respectivamente as velocidades nos eixos 'X' e 'Y', $\frac{\partial p}{\partial x_j}$ é a variação da pressão no eixo 'X', ρ é a densidade do fluido estudado e f_i está relacionado com as forças de corpo.

MODELO VOF

A modelagem do transporte de ambas as fases (água e óleo) será realizada a partir do método *VOF* (*Volume Of Fluid*), que consiste em uma técnica para o mapeamento da superfície livre. Este método pode ser utilizado para modelar dois ou mais fluidos imiscíveis, a partir da solução de um conjunto de equações de conservação de massa e de balanço de quantidade de movimento linear. Para determinar em que região de cálculo cada fase se encontra o método utiliza uma variável auxiliar denominada fração volumétrica α (Soria, 2009).

Define-se a fração volumétrica da fase “*i*” como $\alpha_i=0$ quando não houver fluido “*i*” e $\alpha_i=1$ quando só existe o fluido “*i*”, já na interfase onde existe os dois tipos de fluidos define-se a fração volumétrica como $0 < \alpha_1 < 1$ logo o somatório das fases fica, conforme dado na Eq. 3.

$$\sum_i \alpha_i = 1 \quad (3)$$

Como possui apenas duas fases pode-se definir a interface pelo conhecimento da fração volumétrica de uma das fases como podemos ver na Eq. 4. Para a determinação da interface considera-se um referencial coincidente com a mesma, por consequência a derivada material da fração volumétrica na interface é nula.

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \alpha_1 = 0 \quad (4)$$

Todas as fases compartilham um valor médio das propriedades e das variáveis. As propriedades das misturas como a densidade e a viscosidade são calculadas considerando a quantidade de cada fase na mistura, conforme as Eq. 5 e 6.

$$\rho_m = \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2 \quad (5)$$

$$\mu_m = \mu_1 \alpha_1 + \mu_2 \alpha_2 \quad (6)$$

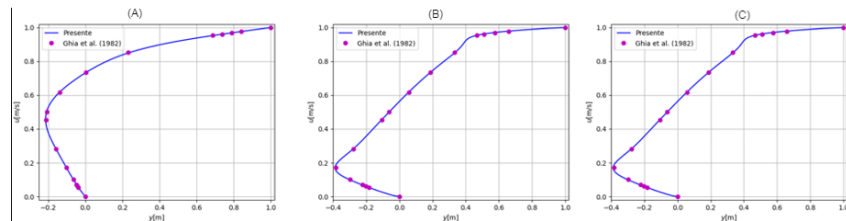
UTILIZAÇÃO DOS SOFTWARES

Neste trabalho para a realização das simulações foi utilizado o software Ansys versão estudantil. Foi simulado um escoamento do fluido em 2D com um corpo de área de 1m^2 e uma malha com espessura de 5mm . Com essas propriedades empregadas no corpo obteve-se um total de ‘quarenta mil seiscentos e dois’ nós e ‘quarenta mil elementos’. Foi utilizado uma malha de modelo quadrático com ordem de elemento linear. Não foram escolhidas malhas mais finas pois com esta espessura de malha o resultado convergiu e malhas mais finas necessitariam de uma capacidade computacional maior. Para a simulação do escoamento foi colado um Reynolds “10” para que a separação de fases entre a água e o óleo ficasse bem definida e também por causa de limitações computacionais. Foi calculado com um ‘time step size’ de (0,1s) e foi feito um total de mil iterações. foi imposta uma velocidade de 1m/s no óleo para que o mesmo entrasse em movimento, de modo que o mesmo iniciasse sua mistura com a água.

RESULTADOS PRELIMINARES

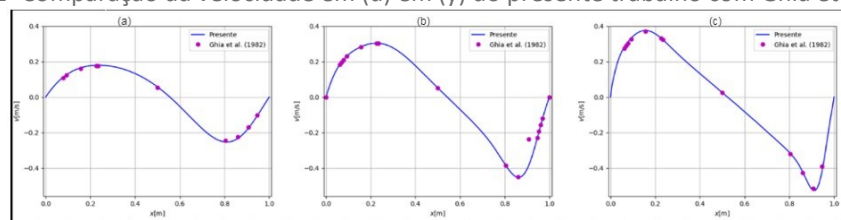
De modo a adquirir mais confiabilidade foi reproduzido aqui os resultados de Ghia et al (1982) para o problema de cavidade com tampa deslizante para óleo e água.

Figura 1- Comparação da velocidade em (U) em (Y) do presente trabalho com Ghia et al. (1982).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 2- Comparação da velocidade em (u) em (y) do presente trabalho com Ghia et al. (1982).



Fonte: autoria própria (2020).

Pode-se observar nas Figuras 1 e 2 que conforme eleva-se o número de Reynolds mais achatada é o perfil velocidade e maior é a tensão cisalhante. Após a validação do método empregado compararemos o perfil velocidade de uma mistura água e óleo com o perfil velocidade destas substancias separadas.

Pode-se ver nas Figuras 3 e 4 que com os Re abaixo de 10 observa-se que a maior estrutura é formada na fase óleo uma vez que essa está em contato com a tampa e que o transporte de quantidade de movimento é transmitido à fase água na interface bem definida entre os dois fluidos, com pouca mistura das fases. Conforme aumentamos os Re temos uma maior mistura nas fases.

Figura- 3 Gráficos de fases para Re 8(a),10(b) e 12(c).

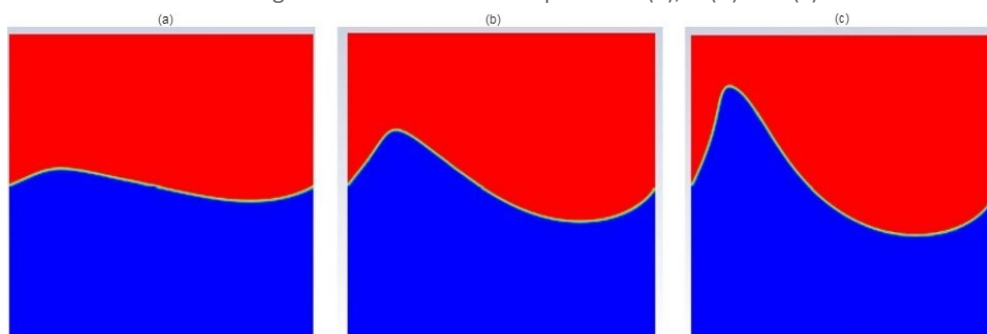
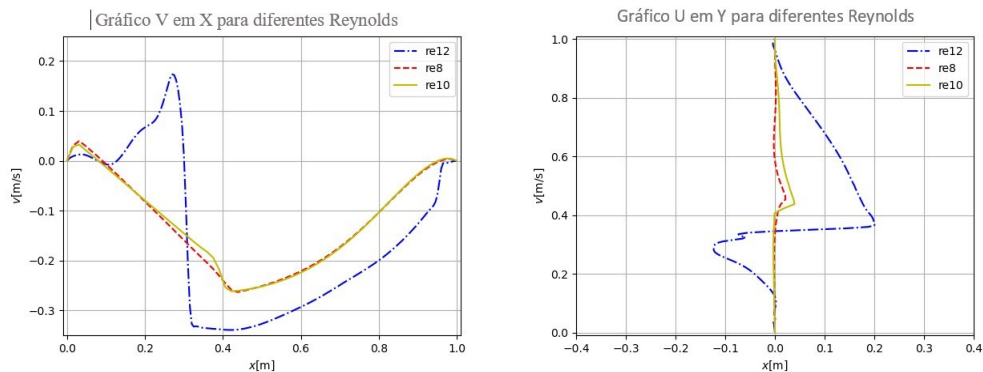


Figura 1- Gráficos de velocidades U e Y em diferentes Reynolds.

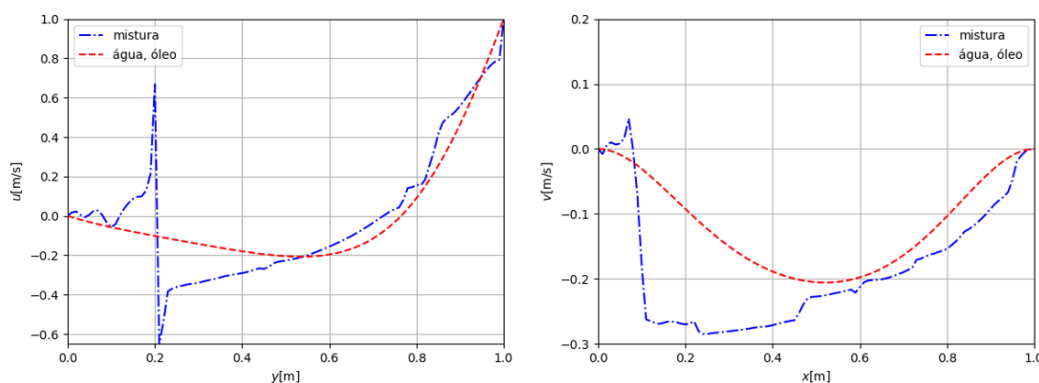
Figura 4 - Comparação das velocidades (U) em (Y) e (V) em (X) para diferentes Reynolds.



Fonte: autoria própria (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 5 Comparação das velocidades (U) em (Y) e (V) em (X).



Fonte: Autoria própria (2020).

Para se comparar os gráficos de velocidade primeiro deve-se comparar a densidade e a viscosidade das substâncias. Para o cálculo das propriedades da mistura foram utilizadas as Equações 5 e 6.

Tabela 1- Tabela de propriedades da Água e Óleo.

Substância	Viscosidade (Ns/m ²)	Densidade (kg/m ³)
Água	0,001003	0,998
Óleo	1,06	889
Água e Óleo	0,5305015	943,6

Fonte 1: ANSYS Fluent Database Materials (2020).

Conforme já era esperado, os perfis de velocidade para a mistura de água e óleo ficaram próximos, exceto na região próxima da interface entre os dois fluidos. Esse comportamento se deve ao fato de que, uma vez que o escoamento é gerado pelo movimento da placa e esta se mantém em contato apenas com o óleo, o movimento das partículas da substância de maior massa específica, que nesse caso é a água, se dará a partir da transferência de quantidade de movimento na interface água e óleo.

CONCLUSÃO

Foram realizadas simulações para o problema clássico de cavidade quadrada com tampa deslizante para números Re de 10, 100, 400, 1000. Para Re= 100, 400 e 1000, foram simulados apenas escoamentos com água. Para a simulação da mistura água e óleo foi utilizado Re= 10. Para Re abaixo de 10 observa-se que a maior estrutura é formada na fase óleo uma vez que essa está em contato com a tampa e que o transporte de quantidade de movimento é transmitido à fase água na interface bem definida entre os dois fluidos, com pouca mistura das fases. Embora não tenham sido realizadas experiências para maiores Re, por motivos de limite computacional, espera-se, que esse transporte também ocorra via advecção de "pacotes" da fase óleo para dentro da fase água.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar os obstáculos no caminho, ao meu pai Marcelo Cornacini por sempre me apoiar e me dar a oportunidade de ter um estudo e por fim o meu orientador Prof. Dr. Marcos Antonio de Souza Lourenço por ter me dado essa oportunidade para aprofundar os meus conhecimentos e por ter tido paciência para me guiar nesta jornada.

REFERÊNCIAS

Bortoli, A. L. **Introdução a dinâmica de fluidos computacionais**. 2000.

Catabriga, L. **Um breve estudo sobre Dinâmica dos Fluidos Computacional**. Ufes, 2020. Disponível em: <http://inf.ufes.br/~luciac/mn1/intro-cfd-pub.pdf>. Acesso em: 1 set. 2020.

Ferziger, J. H. **Computational methods for fluid dynamics**. 1996.

GHIA, U.; GHIA, K. N.; SHIN, C. T. **High-re solutions of incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a Multgrid Method**. 1982.

Osses, J. **O método de volumes finitos**. 2016 disponível em: <https://www.esss.co/blog/o-metodo-de-volumes-finitos/>. Acesso em: 1 set. 2020.

Custodio, R.; Arndt, M. **O Método dos Elementos Finitos Aplicado na Análise de Vibrações Livres de Problemas Submetidos ao Estado Plano de Tensões**. 2017.