

# Simulação Fluidodinâmica de um Sistema Bifásico com Injeção de Ar pelo fundo de um Tanque com Água

Alonso, G.M.\*<sup>1</sup>; Bodart, N.L.O.<sup>1</sup>; Sartim, R.<sup>2</sup>; Vaneli, D.M.<sup>3</sup>; Pinheiro, V.P.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Programa de Iniciação Científica em Métodos Numéricos, Universidade Vila Velha, Vila Velha, ES, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Francisco Eduardo Mourão Saboya Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Tecnologia Industrial, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.

e-mail: gabriel.alonso\_@outlook.com

## Resumo

O propósito do presente trabalho é investigar o escoamento bifásico gerado pela injeção de ar pelo fundo de um tanque de água com uso técnicas de dinâmica dos fluidos computacional (DFC), a fim de iniciar a compreensão de fenômenos de turbulência gerados pelo sopro. O modelo computacional proposto, cuja solução é efetuada no software ANSYS Fluent via método de volumes finitos, faz uso do modelo multifásico de Volume de Fluido (VOF) para o tratamento da natureza bifásica, associado ao modelo SST k- $\omega$  na modelagem da turbulência. O teste de malha foi realizado com geometria setorizada, para melhor eficiência, e o conjunto de malhas mostrou-se convergente em poucas configurações. Por fim, a simulação computacional foi feita em regime transiente com duração de 5 segundos e mostrou ter uma boa semelhança com resultados numéricos estabelecidos em literatura.

**Palavras-Chave:** Simulação numérica; Modelos de turbulência; Escoamento Multifásicos; Fluidodinâmica Computacional (DFC).

## Abstract

This work aims to investigate the biphasic flow generated by the air injection in a water tank using computational fluid dynamics (DFC), aiming to begin the understanding of the phenomena of turbulence generated by the air blow. The computational model, whose solution is performed in ANSYS Fluent software via finite volume method, uses the Multiphase Fluid Volume (VOF) model to treat the multiphase nature, associated to the SST k -  $\omega$  for turbulence modeling. The mesh test was performed in a partitioned geometry for better efficiency, and the set of meshes showed to be convergent in a few configurations. Finally, a computational simulation was done during 5 seconds at a transient regime and showed to have a good similarity with results already found in previous works.

**Keywords:** Numerical simulation; Turbulence models; Multiphase models; Computational Fluid Dynamics (CFD).

## 1 Introdução

A demanda de um entendimento conceitual e matemático acerca da dinâmica dos

escoamentos multifásicos é notória em diversos fenômenos aplicados a indústria, tal como na produção em poços petróleo e aplicações em reatores nucleares [1].

A modelagem matemática correlata ao fenômeno dos escoamentos multifásicos tem natureza complexa, representando por si só um grande desafio tecnológico [2]. Somado a isto, pode-se destacar que a maioria absoluta dos problemas de escoamento de interesse de engenharia tem regime de fluxo turbulento, cuja matemática mais elaborada agrega nas dificuldades em gerar soluções consistentes.

Neste contexto pretende-se, no vigente artigo, analisar via dinâmica dos fluidos computacional (DFC) um sistema bifásico caracterizado pela injeção de ar no fundo de um tanque com água. O cerne da análise consiste em entender, de forma mais detalhada, os fenômenos multifásicos e turbulentos associados ao campo de velocidade gerado pela injeção no interior do tanque.

## 2 Modelagem Matemática

A priori a descrição hidrodinâmica de um escoamento de fluido dá-se pelas leis conservativas de massa e momentum [4]. A solução numérica direta (DNS) de escoamentos demanda grande capacidade computacional e situa-se em estágio limitado a pequenos número de Reynolds [5].

Neste contexto, o tratamento da turbulência em problemas cotidianos da engenharia é efetuado uma média no tempo sobre as sentenças conservativas originais resultando nas equações médias de Navier Stokes (RANS), trazidas pelas expressões 1 e 2. O procedimento mais detalhado que dá origem as estas equações pode ser encontrado literatura clássica da turbulência tal como em [6] e [7].

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \text{div}(\bar{\rho} \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \rho \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = \\ & - \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \end{aligned} \quad (2)$$

Uma análise mais atenta na equação 2 revela o surgimento de um tensor de segunda ordem correlato com as flutuações do campo de velocidade, denominado tensor de Reynolds [6]. Todavia, tal tensor cria um problema de fechamento matemático, e portanto deve ser modelado. Há uma grande variedade de modelos de turbulência na literatura que podem ser apreciados em [5], [7]. Neste projeto foi utilizado o modelo SST  $\kappa - \omega$ , proposto por Menter [8], cuja escolha está fundamentada nas análises presentes em [9], que simula diversos modelos de turbulência em um casos multifásico de geometria correlata.

Em paralelo, para o tratamento da natureza multifásica foi selecionado o modelo *Volume of Fluid* (VOF), que preconiza a presença de ambas as fases no escoamento simultaneamente em cada ponto, ponderadas pos sua vez, por uma fração volumétrica,  $\alpha_i$ .

As propriedades físicas dos escoamento são ponderadas por  $\alpha_i$  no formato dado pela equação 3, para uma variável  $\phi$  arbitrária.

$$\phi = \sum_i \alpha_i \phi_i \quad (3)$$

Todavia, um custo computacional para o uso deste modelo multifásico reside na adição de uma equação diferencial extra ao sistema, cuja variável campo é a própria fração volumétrica, como algebricamente posto na equação 4.

$$\frac{\partial \alpha_i}{\partial t} + \bar{\mathbf{u}} \nabla \alpha_i = 0 \quad (4)$$

### 3 Metodologia

Primeiramente, para uma expor de forma clara a abordagem computacional do problema proposto, representa-se um esquema na Figura 1, que traz consigo especificações geométricas e hidrodinâmicas. A entrada da injeção é dada por um perfil de velocidade uniforme, enquanto a saída é feita para a atmosfera.

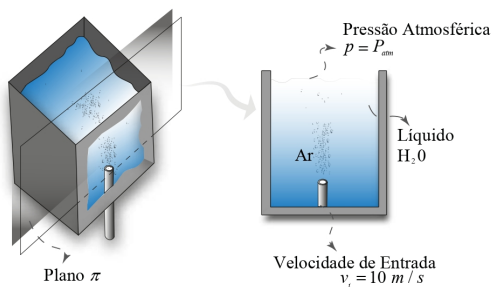


Figura 1: Croqui do Problema

O processo de definição da malha leva em conta a importância diferenciada da área de injeção do gás, em relação as demais. Nesta linha utiliza-se uma setorização da geometria como ilustrado a seguir na Figura 2, o que permite trabalhar com níveis distintos de refinamento, conduzindo a uma melhor eficiência.

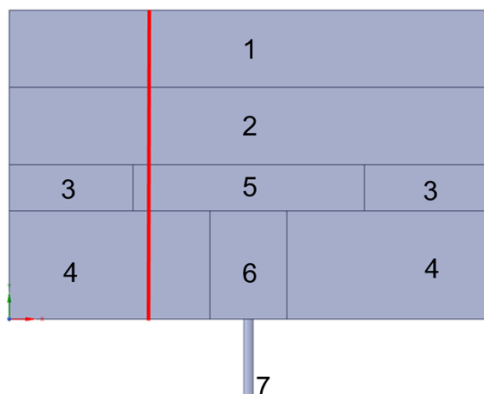


Figura 2: Setorização da Malha

A malha construída no ANSYS *Meshing* tem elementos tetraédricos, com foco de maior refinamento na região 6. Um teste de malha foi realizado com cinco configurações de qualidade crescente, e tais resultados são graficados a seguir.

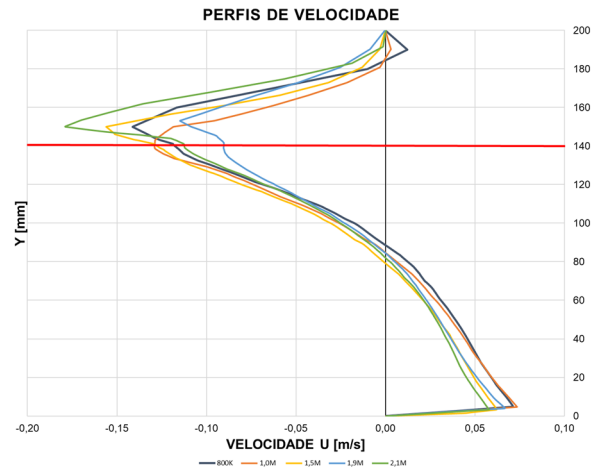


Figura 3: Teste de Malha - Perfil de Velocidade

A malha com 2,1M foi selecionada para uso e considerada convergida, tendo sido utilizado o perfil de velocidade na linha vermelha exibida na Figura 3 como parâmetro de convergência, tal como já ilustrado no gráfico acima. Por fim, para validar a região próxima a parede, utiliza-se a função de parede  $y^+$ , cujo conceito pode ser apreciado em [5]. Neste quesito, o escoamento próximo a parede mostra-se numericamente bem solucionado, tornando consistente a validação da malha.

Malha	$y^+$
0,8M	49.7896
1,0M	94.9297
1,5M	65.3524
1,9M	49.4323
2,1M	39.8851

Tabela 1: Validação com parâmetro  $y^+$

Uma vez efetuado o teste de malha de forma consistente como mostrado na Tabela 1, pode-se afirmar que os resultados das simulações são independentes da malha [5].

### 4 Estudo de Caso

O objetivo central deste estudo de caso consiste em analisar os fenômenos multifásicos e turbulentos que ocorrem de-

vido a injeção de ar. Para tanto, apresenta-se abaixo o campo vetorial de velocidade simulado na face indicada pela Figura 1.

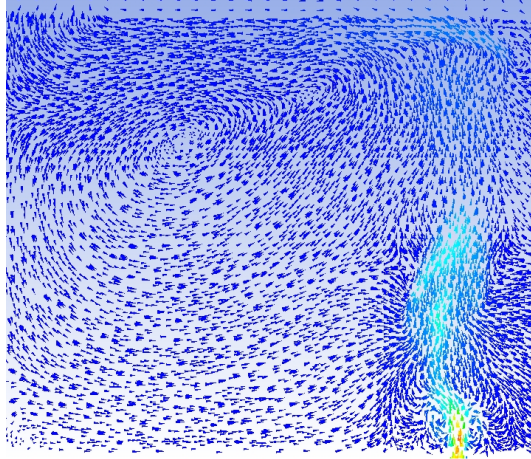


Figura 4: Campo Vetorial de Velocidade

Os resultados trazidos pela Figura 4 são aferidos em tempo computacional total de 5 segundos. A região de injeção pode ser observada na região inferior direita.

É possível identificar um vórtice de maior escala na região esquerda superior da Figura 4, dentre várias outras regiões com estrutura turbulentas menores, onde destaca-se, por exemplo, o pequeno vórtice canto inferior esquerdo do plano.

No intuito de aferir confiabilidade aos resultados gerados, efetua-se uma comparação com os resultados gerados por Faria (2017), que simulou geometria correlata e apresenta resultados de campo de velocidade para o mesmo tempo de transiência.

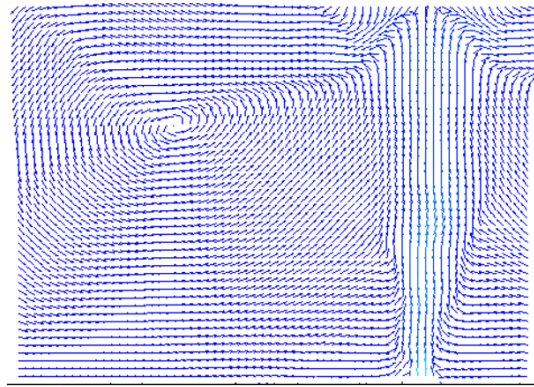


Figura 5: Campo Vetorial de Velocidade de Referência - Faria (2017)

Uma comparação atenciosa das Figuras 4 e 5 revela uma clara similaridade qualitativa dos campos de velocidade levantados. É possível afirmar isto com solidez observando o posicionamento e formato do maior vórtice tal como as perturbações na injeção.

Em contrapartida, observa-se que o campo vetorial de velocidades da Figura 5 não captura a presença do menor vórtice no canto inferior esquerdo, tal como na Figura 4. A confirmação da presença desta menor estrutura demanda uma comparação experimental, que consiste em uma próxima etapa do vigente projeto.

## 5 Considerações Finais

Em suma, pode-se fazer uma análise qualitativa dos resultados encontrados, observando fenômenos de turbulência e vetores de velocidade traçados no modelo numérico e, assim, comparar com dados previamente encontrados na literatura.

Foi obtida uma simulação bem sucedida, com geração de vetores de velocidade similares aos encontrados no trabalho de Faria (2017), provando que os métodos numéricos utilizados são de boa qualidade e são análogos aos utilizados pelo mesmo.

Dessa forma, uma evolução natural deste projeto é uma comparação com uma referência experimental com o fim de va-

lidar os resultados numéricos e direcionar futuras simulações.

## Referências

- [1] GUERRERO, Esteban; MUÑOZ, Felipe; RATKOVICH, Nicolás. Comparison between eulerian and vof models for two-phase flow assessment in vertical pipes. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro, v. 7, n. 1, p. 73-84, 2017.
- [2] ROSA, Eugênio S. Escoamento multifásico isotérmico: modelos de multifluidos e de mistura. Bookman Editora, 2009.
- [3] DE OLIVEIRA FORTUNA, Armando. Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos: conceitos básicos e aplicações. Edusp, 2000.
- [4] BATCHELOR, C.K.; BATCHELOR, G. K. An introduction to fluid dynamics. Cambridge University Press, 1967.
- [5] MALALASEKERA, W. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. PEARSON Prentice Hall, 2007.
- [6] TENNEKES, Hendrik et al. A first course in turbulence. MIT press, 1972.
- [7] WILCOX, David C. et al. Turbulence modeling for CFD. La Canada, CA: DCW industries, 1998.
- [8] MENTER, F. Zonal two equation kw turbulence models for aerodynamic flows. In: 23rd fluid dynamics, plasmadynamics, and lasers conference. 1993. p. 2906.
- [9] FARIA, L.C. Simulação numérica do escoamento multifásico água-ar induzido pela injeção de ar pelo fundo de um reator. Projeto de Graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, 2017.