



XVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 02 a 06/08/2010 - Viçosa – MG  
Paper CREEM2010-MC-02

## ANÁLISE DO DESPRENDIMENTO DE VÓRTICES NO ESCOAMENTO SOBRE ESFERA UTILIZANDO OS MÉTODOS DE FRONTEIRA IMERSA E MALHA ADAPTATIVA

Vitor M. V. Ferreira, Millena M. Villar e Aristeu da Silveira Neto

UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Curso de Engenharia Mecânica  
Campus Universitário – Santa Mônica - CEP 38400-902 - Uberlândia – Minas Gerais  
E-mail para correspondência: vitormacielvilela@yahoo.com.br

### Introdução

Escoamentos sobre corpos submersos são observados a todo instante na natureza, como exemplo as correntes atmosféricas que fluem sobre o planeta Terra. O contexto dos mecanismos aplicados na indústria não é diferente, possuindo grande aplicabilidade sistemas que são compostos por elementos mecânicos submersos. O maior conhecimento dos fenômenos decorrentes destes escoamentos é crucial para a tomada de decisão na etapa de projeto e de otimização dos sistemas. Para análise deste problema são apresentados os resultados de escoamento sobre esfera, a número de Reynolds 400, com o código AMR3D do Laboratório de Mecânica dos Fluidos Computacional da Universidade Federal de Uberlândia, MFLAB. Na busca de compreender melhor o descolamento da camada limite ao redor de corpos imersos, o presente trabalho recorre ao uso de malha refinada localmente para captar com maior precisão a região de descolamento.

### Métodos Numéricos e Problema Físico

São utilizados para a presente simulação os métodos de Fronteira Imersa e Malha Adaptativa Bloco Estruturada refinada localmente. O método da Fronteira Imersa incorpora ao domínio euleriano uma malha lagrangiana representativa da superfície esférica, composta por elementos triangulares. Esta recebe por interpolação da malha euleriana os valores das velocidades do fluido e calcula as forças de corpo, tornando a esfera “visível” ao escoamento. O método *AMR* detecta as regiões críticas do escoamento (alto valor da vorticidade, por exemplo) e gera blocos estruturados com refinamento progressivo nessas regiões. Tal algoritmo, devido a diminuição do grau de liberdade do sistema (GDL), torna o código menos dispendioso em tempo computacional, garantindo também maior precisão nas áreas de interesse.

Corpos rombudos como as esferas são utilizados como bons modelos para os problemas de engenharia envolvendo escoamentos sobre obstáculos, os quais muitas vezes são compostos por corpos de geometrias complexas, como carenagem de helicóptero. Tal aplicabilidade se deve ao fato de que todos os fenômenos fundamentais de descolamento de camada limite e transição a turbulência podem ser encontrados neste escoamento (Jindal, 2004).

Com relação à esteira formada a jusante da esfera, tem-se que a transição a turbulência ocorre aproximadamente a  $Re = 400$ , sendo que para  $Re < 500$  a emissão de vórtices apresenta um padrão transiente periódico e simetria planar (Campregher, 2005).

### Modelo Matemático

A equação de Navier-Stokes, Eq. (1) e a equação da conservação da massa, Eq. (2) são discretizadas pelo método de diferenças finitas, com segunda ordem no espaço e no tempo. Os campos de pressão e de velocidade são acoplados utilizando o método dos Passos Fracionados.

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \left[ \mu \nabla u + \nabla u^T \right] + \rho g + f \quad (1)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

Onde,  $u$  é o campo de velocidade  $(u, v, w)$  no domínio tridimensional,  $p$  é a pressão,  $g$  a aceleração da gravidade,  $f$  representa as forças externas ao volume de controle considerado (a presença de um corpo

submerso, por exemplo) e  $\rho$ ,  $\mu$  são a massa específica e a viscosidade dinâmica do fluido, respectivamente.

## Resultados

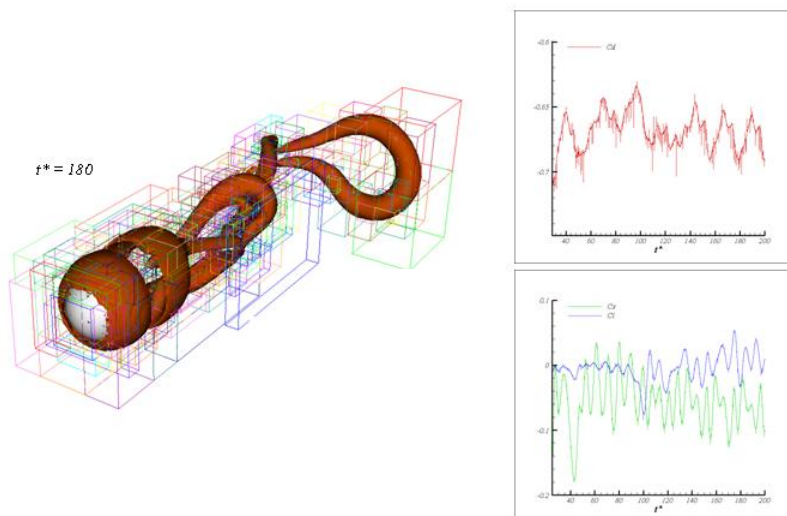


Figura 1 – Malha adaptativa, bloco estruturada, acompanhando estrutura turbilhonar (à esquerda). Coeficiente de arrasto,  $C_d$ , de sustentação,  $C_l$  e coeficiente lateral,  $C_s$  (à direita). Escoamento a  $Re = 400$ .

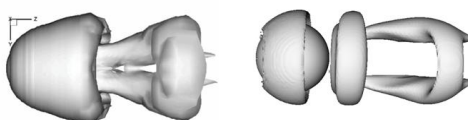


Figura 2 – Estrutura turbilhonar grampo de cabelo. À esquerda, figura retirada de Gushchin *et al* (2002) e à direita, presente trabalho, ambas a  $Re = 400$ .

Na Figura 1, observam-se três níveis de refinamento nas áreas de maior magnitude da vorticidade, os quais acompanham as estruturas na esteira da esfera. O Coeficiente de Arrasto Médio obtido é  $\overline{C_d} = 0,68$ . O gráfico dos coeficientes lateral e de sustentação mostra a influência do desprendimento dos vórtices na oscilação destes valores.

Notam-se, na Fig. 2, maiores detalhes na estrutura mostrada à direita, uma vez que a malha utilizada nesta região é extremamente refinada  $\Delta s = 1,95 \cdot 10^{-3}$ .

## Considerações Finais

Precisão localizada é uma vantagem do *AMR*, uma vez que se todo o domínio for coberto pela malha mais fina, o GDL será de aproximadamente  $4,73 \cdot 10^7$ . Uma alternativa seria o uso da malha não-estruturada, como visto em Campregher (2005), entretanto, neste caso o refinamento não acompanha as estruturas, que perdem precisão à medida que se afastam da esfera.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Petrobrás pelo apoio financeiro através dos convênios 0050.0022712.06.5 e 0050.0022712.06.4.

## Referências Bibliográficas

- Campregher, R., “Modelagem Matemática Tridimensional para Problemas de Interação Fluido-Estrutura”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2005.
- Ceniceros, H. D., Roma, A. M., Silveira-Neto, A., Villar, M. M., “A Robust, Fully Adaptive Hybrid Level-Set/Front-Tracking Method for Two-Phase Flows with an Accurate Surface Tension Computation”, *Commun. Comput. Phys.*, 8 (2010) pp. 51-94.
- Jindal, S., “Unsteady Turbulent Separated Flow Simulations on Unstructured Grids”, A Thesis in Aerospace Engineering, The Pennsylvania State University Graduate School, 2004.