

MALHA ADAPTATIVA, BLOCO-ESTRUTURADA PARA SOLUÇÃO NUMÉRICA VIA VOLUMES FINITOS DE ESCOAMENTOS TURBULENTOS

Palavras-Chave: Malha adaptativa bloco-estruturada, Volumes Finitos, escoamentos turbulentos

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos escoamentos de fluidos observados na natureza e em processos industriais se encontra no estado turbulento. Estes são caracterizados por campos aleatórios de velocidade e apresentam altas taxas de mistura das propriedades cinemáticas do escoamento e químico-físicas do fluido. A malha adaptativa, bloco-estruturada possibilita o método numérico atingir dinamicamente alta precisão em regiões do escoamento de interesse, sendo recomendada para solução numérica de escoamentos turbulentos, como mostra a Figura 1. Este trabalho tem o objetivo de apresentar o *framework* numérico/computacional baseado em malha adaptativa, bloco-estruturada, desenvolvido para o estudo de escoamentos turbulentos.

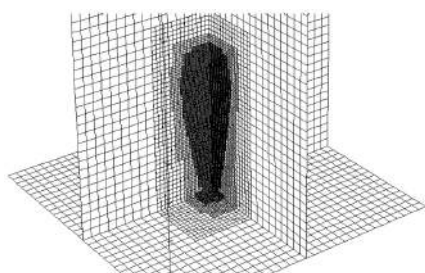


Figura 1: Malha adaptativa, bloco-estruturada utilizada na simulação de um jato turbulento [CALEGARI \(2012\)](#).

2 MODELOS E MÉTODOS

O modelo matemático que descreve a evolução temporal/espacial de escoamentos incompressíveis, monofásicos e de fluido Newtoniano é

conhecido como equação de Navier-Stokes

$$\frac{D\mathbf{U}}{Dt} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu\nabla^2\mathbf{U}, \quad (1)$$

onde: \mathbf{U} representa o vetor velocidade e p é a pressão modificada pela fração isotrópica do tensor tensão; ρ e ν são a densidade e a viscosidade cinemática do fluido, respectivamente.

2.1 Abordagens de simulação

As abordagens denominadas Simulação Numérica Direta (DNS), Simulação de Grandes Escalas (LES) e Simulação Média de Reynolds (RAS) variam, entre outros aspectos, em grau de aplicabilidade e acurácia. Estas técnicas utilizam métodos numéricos (e.g., Volumes Finitos) para discretizar a equação diferencial parcial de transporte de quantidade de movimento linear.

2.2 Método numérico

O método de Volumes Finitos emprega uma malha numérica/computacional, a qual é caracterizada por um conjunto de células tridimensionais, onde as variáveis do escoamento (e.g., velocidade, pressão e temperatura) são calculadas em seus centroides conforme o arranjo co-localizado [FERZIGER and PERIĆ \(2002\)](#).

3 MALHA NUMÉRICA/COMPUTACIONAL

Dois grupos de malhas se distinguem: estruturadas e não-estruturadas; estes, por sua vez, também se ramificam devido a outras especificidades. Uma das grandes vantagens da malha adaptativa, bloco-estruturada é sua contribuição para minimizar o custo computacional das simulações em termos de processamento e memória. Isto ocorre

devido à distribuição heterogênea das células computacionais pelo domínio de cálculo VILELA (2015). Em DNS, 99% da malha numérica são utilizados para solução de pequenas estruturas turbulentas, que se encontram na região denominada *dissipation range*. A técnica de simulação de grandes escalas, por sua vez, resolve as grandes estruturas turbulentas, contidas na faixa denominada *energy-containing*, enquanto modela os efeitos das pequenas estruturas POPE (2000).

4 RESULTADOS

O *framework* desenvolvido possibilita o refinamento da malha seguindo vários critérios, como exemplo a função linear da Fig. 2 e o posicionamento por blocos da Fig. 3. Adicionalmente, o refinamento da malha de acordo com campos escalares (e.g., viscosidade turbulenta, componentes de vorticidade) e gradiente de campo (e.g., gradiente de temperatura/composição) são possíveis.

Os pontos das Figs. 2 e 3 representam os centroides das células tridimensionais utilizadas pelo método Volumes Finitos. As tonalidades de cinza indicam os diferentes níveis da malha.

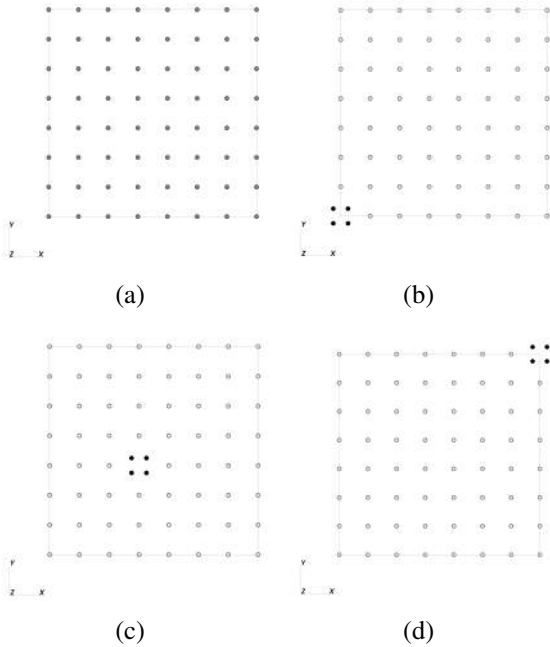


Figura 2: Projeção no plano $x - y$ de refinamento linear (a) – (d).

A Figura 2 mostra a projeção no plano $x - y$ de quatro instantes do refinamento no eixo z da malha adaptativa, bloco-estruturada seguindo uma função linear. Para esta simulação, 2 níveis de refinamento foram utilizados.

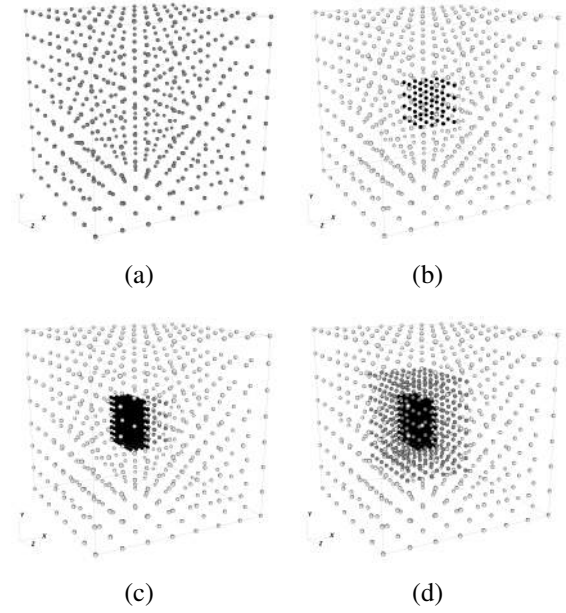


Figura 3: Visualização tridimensional de refinamento por bloco (a) – (d).

A Figura 3 mostra quatro instantes do refinamento por bloco da malha adaptativa, bloco-estruturada. Para esta simulação, 3 níveis de refinamento foram utilizados.

5 CONCLUSÕES

As características dos escoamentos turbulentos citados neste trabalho explicitam a necessidade de uma malha numérica/computacional capaz de prover alta densidade de células computacionais apenas em regiões que demandem alta densidade de informação. A malha adaptativa, bloco-estruturada possui este atributo somado à facilidade de desenvolvimento do método Volumes Finitos, comparado com malhas não-estruturadas, e de métodos computacionais de paralelização.

REFERÊNCIAS

- CALEGARI P. *Simulação computacional de escoamentos reativos com baixo número de Mach aplicando técnicas de refinamento adaptativo de malhas*. Tese de doutorado, USP, São Paulo, 2012.
- FERZIGER J. and PERIĆ M. *Computational methods for fluid dynamics*. Springer, Berlin, 2002.
- POPE S. *Turbulent flows*. Cambridge University Press, New York, 2000.
- VILELA V. *A hybrid LES/Lagrangian FDF method on adaptive, block-structured mesh*. Dissertação de mestrado, UFU, Uberlândia, 2015.