



PROCESSAMENTO PARALELO APLICADO A PROBLEMAS DE CFD

João Marcelo Vedovoto; Aristeu da Silveira Neto; Luis Fernando Figueira da Silva

Problemas que envolvem variações de propriedades físicas variáveis em mecânica dos fluidos estão presentes nas mais variadas aplicações industriais, dentre elas, cita-se problemas que envolvem combustão em fornos, motores de combustão interna, escoamento em regiões com grandes variações de temperatura. Comumente tais problemas envolvem também a presença de geometrias complexas, sejam elas estáticas, móveis ou deformáveis, além de grandes razões de aspecto. Algoritmos computacionais que consigam lidar com todas estas nuances constituem linha de pesquisa atual e tema de interesse de várias empresas brasileiras, especialmente a indústria do petróleo. Buscando resolver problemas que envolvam características como as citadas acima, novos algoritmos e metodologias devem ser desenvolvidos.

O objetivo deste trabalho é aplicar e testar novos algoritmos computacionais a problemas canônicos visando a aplicações futuras na solução de problemas de combustão turbulenta de chamas pré-misturadas. Para tanto um novo código computacional foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Universidade Federal de Uberlândia. Tal código, escrito em linguagem Fortran, resolve as equações de Navier-Stokes, na sua forma tridimensional completa (eq 1), utilizando um método de projeção baseado no trabalho de Najm et al, (1998), que contabilizam efeitos de variações de viscosidade e massa específica. A solução de problemas que envolvam propriedades físicas variáveis também exige métodos de integração temporais que sejam capazes de resolver sistemas rígidos, assim sendo, as equações de Navier-Stokes são integradas no tempo utilizando métodos totalmente implícitos. No presente trabalho o método de integração utilizado nas simulações foi o Método de Crank-Nicolson. Com relação à discretização espacial, o código faz uso do esquema de diferenças centradas em malhas deslocadas para todas as derivadas espaciais, e também faz uso de algoritmos SOR para resolver o sistema linear proveniente da discretização das equações de balanço de quantidade de movimento, e o algoritmo SIP para solução da equação de correção da pressão.

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mu_{ef} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right) + \rho f_i + \rho g \quad (1)$$

Uma das características do código computacional apresentado no presente trabalho é que este possui capacidade de solução das equações de Navier-Stokes utilizando processamento paralelo. A metodologia de paralelização implementada é a decomposição de domínios, que pode ser na forma uni, bi, ou tridimensional. Esta capacidade de decomposição de domínios é vantajosa, pois possibilita obter ganho em eficiência mesmo utilizando um número crescente de computadores. Tal código é executado em um cluster tipo Beowulf, que é uma solução viável de baixo custo para análise de problemas que exijam grandes recursos computacionais.

Para fins de validação foram simulados casos como o da “cavidade com tampa deslizante” e “cubo sobre superfície”. Tais problemas são geometricamente simples, porém possuem grande riqueza de detalhes do ponto de vista da dinâmica dos fluidos, e, também são testes de implementação, principalmente no que se refere ao método de integração temporal e à paralelização. A figura 1 (a) e (b) mostram resultados quantitativos da comparação de perfis de velocidade para uma simulação de uma cavidade com tampa deslizante, a um número de Reynolds igual a 3200. Nota-se que mesmo sem modelagem de turbulência os perfis obtidos no presente trabalho se ajustam aos perfis experimentais e numéricos utilizado como referência. Para esta simulação o domínio computacional foi dividido em oito partes iguais (tridimensionalmente) e foram utilizados quatro computadores simultaneamente.

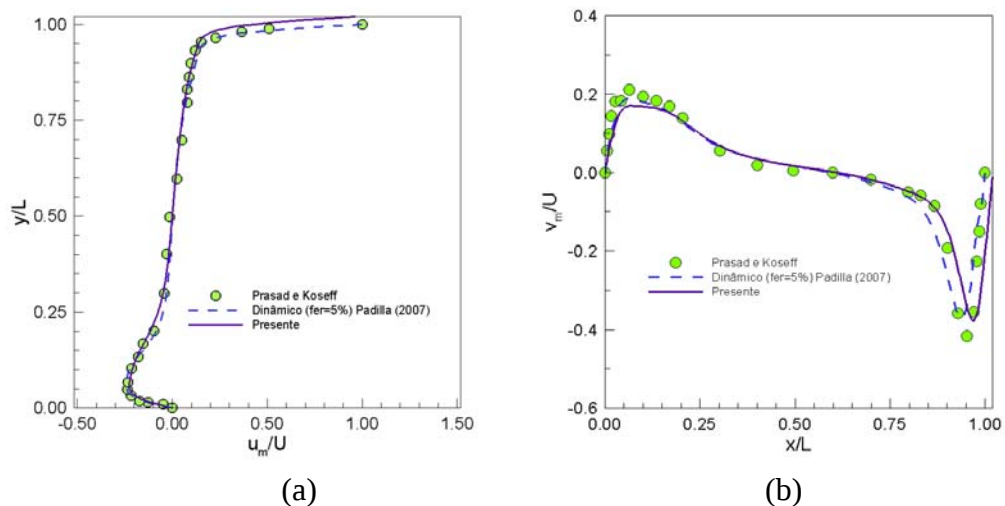


Figura 1: Avaliação quantitativa de perfis de velocidade para simulação da cavidade com tampa deslizando

A figura 2 mostra um campo instantâneo de vorticidade em z , em três vistas diferentes, para o escoamento sobre um cubo sobre superfície a Reynolds 500. Neste caso o domínio computacional foi dividido em quatro subdomínios, e cada um enviado à um computador.

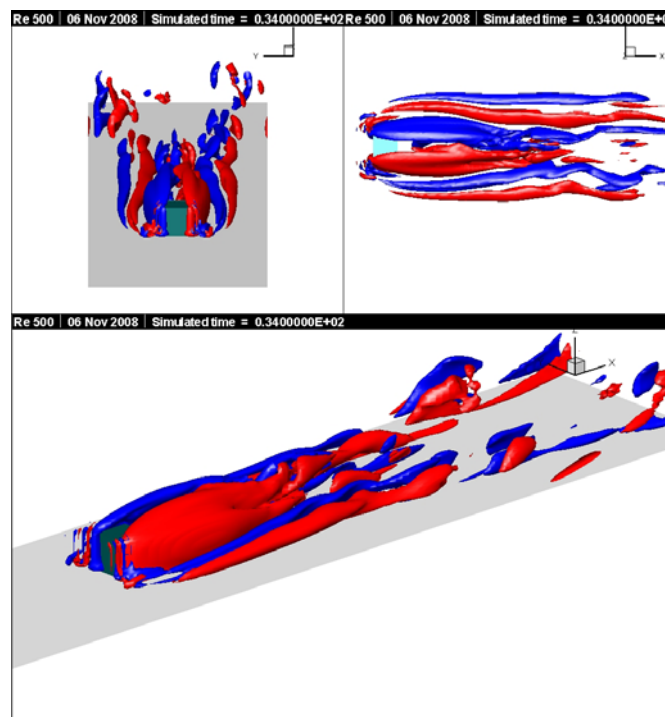


Figura 2: Isosuperfícies de vorticidade em Z para escoamento de cubo sobre superfície.

Com base nos resultados obtidos, a base do código computacional está validada para os problemas estudados. Como trabalhos futuros, têm-se: a validação dos modelos de turbulência já implementados, acoplar o código com o Método da Fronteira Imersa, também já implementado, Implementar a análise estocástica de tensores submalha e desenvolver estudos em escoamentos turbulentos frios (não reativos) e com combustão turbulenta pre-misturada.

REFERÊNCIAS

NAJM, HABIB N., WYCKOFF, PETER S., KNIO, OMAR M., A Semi-implicit Numerical Scheme for Reacting Flow: I. Stiff Chemistry, Journal of Computational Physics Volume 143, Issue 2, 1 July 1998, Pages 381-402.