Paralelização de um Algoritmo para Simulação Numérica de Escoamentos de Fluidos entre Cilindros

Ricardo Vargas Del Frari[1], Clémerson A. Pedroso[2]

[1]Ciência da Computação – URI – Campus de Erechim – RS - Brasil

[2]Departamento de Ciências Exatas e da Terra – DCET - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI - Campus de Erechim - RS - Brasil

ricardovdf@hotmail.com, cpedroso@uricer.edu.br

1. Introdução

A Fluidodinâmica Computacional, conhecida como CFD (*Computational Fluid Dynamics*) é uma área de grande interesse científico que objetiva o entendimento de problemas práticos da aerodinâmica, termodinâmica, hidráulica entre outros. As análises desses problemas podem ser desenvolvidas numericamente através de simulações, essas são feitas através de métodos computacionais aplicados a um modelo matemático. Os modelos matemáticos que descrevem o comportamento de escoamentos são equações diferenciais parciais não-lineares e que não apresentam solução analítica.

As simulações numéricas do projeto envolvem um grande número de iterações, o que torna uma simulação feita com um algoritmo totalmente seqüencial dispendiosa. A possibilidade de paralelizar a rotina utilizando a interface de programação aplicativa OpenMP, surge como uma alternativa para adaptar o código e tornar as simulações mais rápidas e precisas. Inicialmente o código utilizado nas simulações foi reescrito na linguagem C++, o objetivo agora é fazer simulações com o mesmo para depois então paralelizá-lo e simular os escoamentos utilizando um computador multi-core.

2. Simulação

O modelo matemático de Navier-Stokes na forma adimensional consiste de uma equação para a quantidade de movimento do fluido na direção x, uma equação para a quantidade de movimento do fluido na direção y, com a aproximação de Boussinesq, uma equação do tipo Poisson para a pressão e uma equação para a temperatura, respectivamente, representadas pelas equações (1), (2), (3) e (4) [BEJAN, 1996 e MUNSON, 2004].

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial (uu)}{\partial x}+\frac{\partial (vu)}{\partial y}=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{1}{Re}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \tag{1}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial (uv)}{\partial x}+\frac{\partial (vv)}{\partial y}=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{1}{Re}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-\frac{Ra}{Pr}\frac{1}{Re^2}T \tag{2}$$

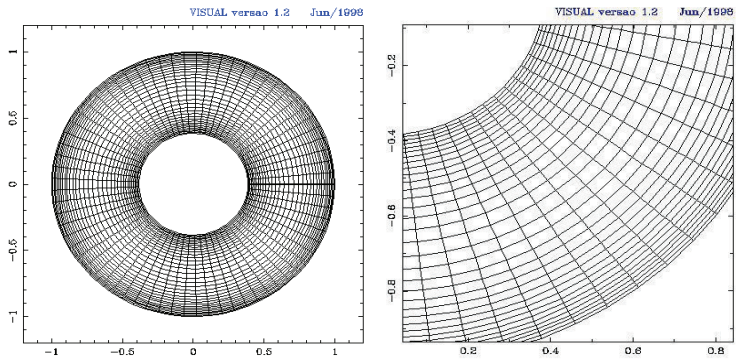
$$\nabla^2 p=\frac{\partial D}{\partial t}+\frac{\partial^2 uu}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 vv}{\partial y^2}+2\left(\frac{\partial^2 uv}{\partial x \partial y}\right)+\frac{1}{Re}\left\{\frac{\partial^2 D}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 D}{\partial y^2}\right\} \tag{3}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{Pr\,Re}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \tag{4}$$

sendo $D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$ e Re, Pr, Ra, respectivamente, os parâmetros adimensionais de Reynolds, Prandlt e Rayleigh.

As equações foram reescritas usando coordenadas generalizadas, isso porque a distância entre os pontos da malha computacional é variável, conforme ilustram as figuras 1 (a) e (b), as derivadas foram aproximadas usando diferenças-finitas e os sistemas algébricos obtidos das aproximações foram resolvidos usando Runge-Kutta de terceira ordem e relaxações sucessivas [BORTOLI, 2000 e CUNHA, 2000].

As simulações numéricas são obtidas considerando uma malha computacional em que para cada ponto (nó) há a necessidade do cálculo das propriedades físicas temperatura, pressão e velocidades através do modelo matemático. As figuras 1 (a) e (b) representam uma malha computacional de 34 por 70 pontos, respectivamente ao longo do raio e angularmente, com refinamento nas paredes, obtida pela rotina seqüencial e visualizadas pelo software Visual, versão 1.2.



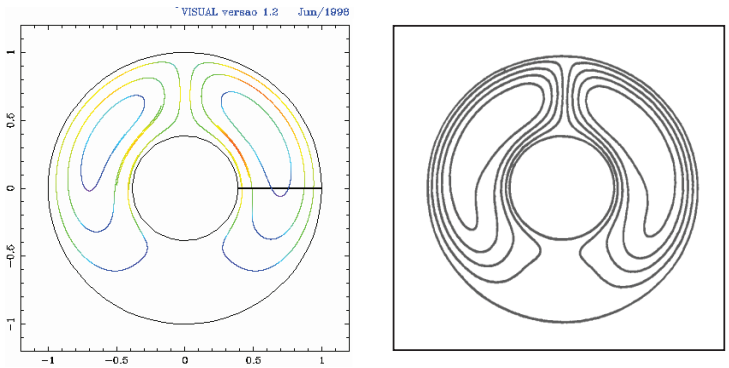
(a) (b)

Figura 1. (a) Malha computacional de 34 (raio) por 70 (angularmente) pontos e (b) zoom da malha computacional.

Considerando que o cálculo das propriedades físicas para cada ponto da malha computacional é feito repetidamente até que o escoamento atinja o regime permanente (quando não ocorrem mais mudanças no escoamento em função das iterações, o que acaba tornando às simulações muito trabalhosas e requerendo grande capacidade de processamento, planeja-se que com o uso do OpenMP o trabalho seja dividido em threads, diminuindo de maneira significativa o tempo de execução do algoritmo.

A primeira simulação numérica considera a convecção natural entre cilindros concêntricos, admitindo que a parede do cilindro interno tem temperatura adimensional maior do que a parede do cilindro externo. Foram feitas 1.829.000 iterações utilizando um computador Pentium IV 3,0GHz com Windows XP. O tempo para realizar uma simulação foi de aproximadamente 120 horas. A malha utilizada, conforme ilustra figura 1, tem um total de 2.380 pontos. Quanto maior o número de pontos da malha

melhor serão os resultados, entretanto, maior será o tempo de processamento para realizar a simulação.



(a) **(b)**

Figura 2. Linhas de corrente (a) obtidas pelo presente trabalho e (b) obtidas por Ming-I (1998), p. 323-343.

A figura 2 (a) ilustra o bom resultado obtido pela primeira simulação, se comparado com o resultado obtido por Ming-I (1998), figura 2 (b), que usou técnicas numéricas diferentes das usadas no presente trabalho, podemos considerar que a rotina é válida, e pode ser utilizada em outros tipos de simulações. Com o código devidamente adaptado pretende-se usar computadores com maior capacidade de processamento. É possível realizar inicialmente as simulações com um computador Intel Core 2 Duo 1,73GHz, 2GB de memória RAM e Windows Vista Ultimate.

3. Considerações Finais

O problema que foi apresentado no decorrer do artigo trata de um código para simulação numérica de fluidos que foi construído em Fortran 90 e depois, visando à paralelização, desenvolvido em C++. Com a paralelização será possível diminuir o tempo das simulações e aumentar a capacidade de processamento do algoritmo, e então realizar simulações com malhas mais complexas e obter dessa forma resultados mais precisos.

Referências

Cunha, M.C.C.; Métodos Numéricos. 2 ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2000.

Maliska, C. R.; Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2004.

Ming-I, C.; HSU, Y.-H.; Computation of Buoyancy-Driven Flow in an Eccentric Centrifugal Annulus With a Non-Orthogonal Collocated Finite Volume Algorithm. International Journal for Numerical Methods in Fluids. v.26, p. 323-343, 1998.

Bortoli, Á.L.; Introdução à Dinâmica de Fluidos Computacional. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

Bejan, A.; Transferência de calor. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1996.

Munson, B.R.; Young, D.F.; Okiishi, T.H.; Fundamentos da Mecânica dos Fluidos. 4 ed., São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2004.

Fox,R.W.; Mcdonald, A.T.; Introdução à Mecânica dos Fluidos. 4 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1995.