

# **ESTUDO DO ESCOAMENTO DE FLUÍDOS EM GEOMETRIAS RESTRITAS E COM DEFEITOS**

*Paloma Vieira da Silva (Bolsista do PIBIC/UFPI), F. F. Barbosa Filho (Orientador, Departamento de Física – CCN/UFPI)*

## **Introdução**

O escoamento de fluídos em meios porosos naturais ou artificiais possui importância tanto para a engenharia quanto para as ciências. A indústria do petróleo busca métodos eficientes para a retirada de óleo da rocha. A indústria de construção civil se preocupa com a transmissão de água através dos materiais utilizados nas edificações. Estes são fenômenos que envolvem o transporte de fluídos de uma forma bem complexa e que até cerca de três décadas atrás eram modelados usando equação diferencial parcial (equações de Navier-Stokes). Esta equação diferencial por ser não linear apresenta um grau de dificuldade maior para a implementação de métodos numéricos, tais como o método de diferenças finitas. Este cenário foi alterado a partir de meados da década de 70, com o desenvolvimento dos computadores pessoais e a introdução do método de autômatos celulares de gás na rede (LGCA) por Frisch, Hasslacher e Pomeau (modelo FHP).

Neste projeto estamos desenvolvendo estudos investigativos a cerca dos padrões surgidos devido ao escoamento de um fluido em meios com desordem e em geometrias restritas usando a técnica LGCA (Autômato Celular de Gás na Rede), com o modelo FHP (ROTHMAN; ZALESKI, 1977; WOLF-GLADROW, 2000; AZEVEDO, 2007).

## **Metodologia**

O desenvolvimento do projeto consistiu numa fundamentação teórica e a implementação computacional, para simular o escoamento bidimensional do fluido incompressível. A fundamentação teórica consistiu numa pesquisa bibliográfica sobre autômato celular de gás na rede (GOULD; TOBOCHNIK; CRISTIAN, 2006). Tendo por objetivo reproduzir o escoamento de fluidos em geometrias restritas e com desordem aleatória. Para a implementação computacional utilizou-se a linguagem de programação Java e o modelo FHP-I da técnica de autômato celular de gás na rede (WOLF-GLADROW, 2000).

## **Resultados e Discussões**

Foi realizada a implementação de um escoamento bidimensional incompressível em uma rede com a presença de um obstáculo plano. Na simulação foi utilizado o modelo FHP-I com colisão aleatória de duas e três partículas e densidade 0.3 por célula. A rede possui 640X320 sítios de dimensão com 100000 passos de tempo. Foram examinados os efeitos para dois tamanhos de subdomínios (Coarse Graining), de  $16 \times 16$  nós e  $32 \times 32$  nós.

Nas paredes e obstáculos foram aplicadas as condições de contorno deslizantes e as condições de contorno periódicas na direção  $\hat{x}$ . Não se fez uso de forças e outros parâmetros. O fluido move-se na horizontal, da esquerda para direita. Sua trajetória em cada ponto é ilustrada pela

direção do vetor correspondente. A velocidade pode ser representada pelo comprimento (módulo) do vetor (“flecha”), como mostrado nas figuras a seguir.

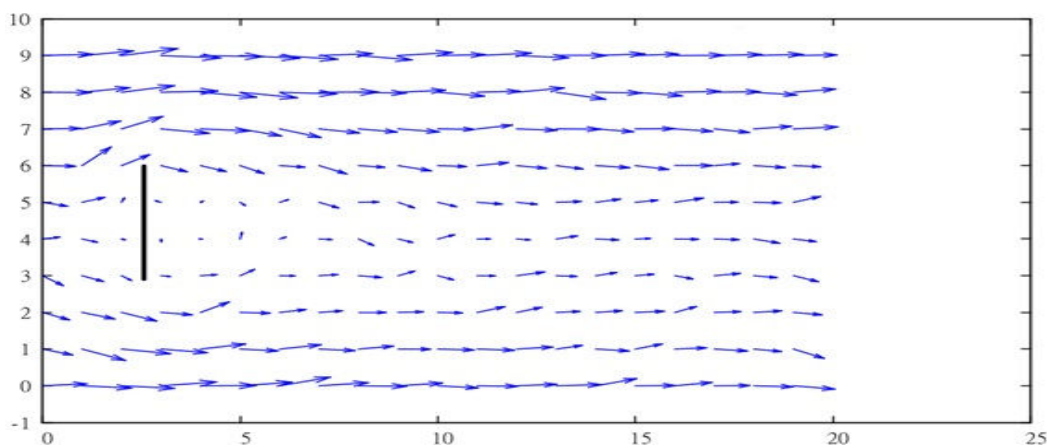


Figura 1. Fluxo do fluido através de uma placa fina. A dimensão do subdomínio é  $32 \times 32$  nós.

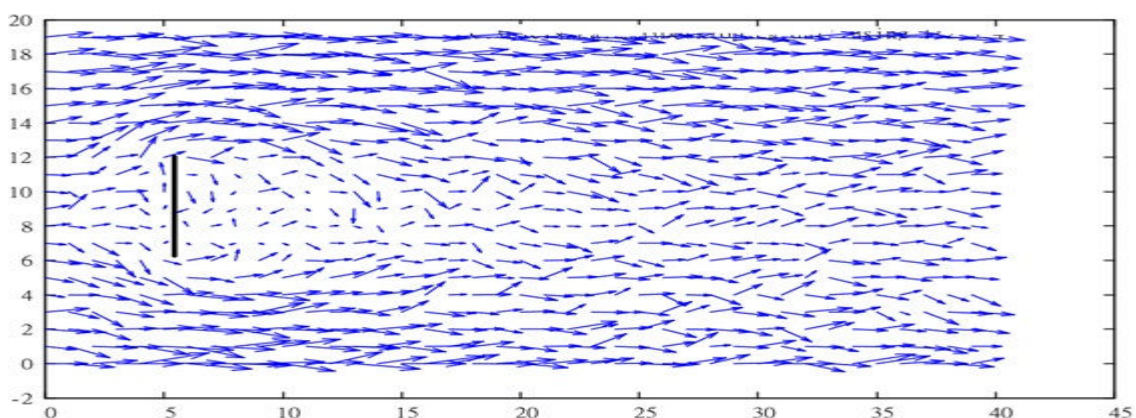


Figura 2. Fluxo do fluido através de uma placa fina. A dimensão do subdomínio é  $16 \times 16$  nós.

Para efetuar o coarse graining o domínio é dividido em um número de subdomínios, que são grandes o suficiente (geralmente  $32 \times 32$  ou  $64 \times 64$  nós) para obter médias confiáveis, isto é, com baixo ruído. Observa-se que a figura 1 reproduz de forma mais coerente e suave o escoamento do fluido em comparação com a figura 2. A justificativa para tal observação diz respeito ao subdomínio. O subdomínio da figura 1 é maior ( $32 \times 32$  nós) e, portanto apresenta ruído mais baixo, permitindo uma melhor interpretação do fluxo. Enquanto a figura 2 apresenta uma descontinuidade que não é observada na literatura e nos experimentos.

## Conclusão

Embora os resultados obtidos estejam parcialmente em concordância com o que se esperava, observamos inconsistências em comparações com resultados experimentais, como por exemplo, a ausência de vórtices bem definidos por detrás da placa, de acordo com as figuras acima. Portanto, ainda são necessários estudos adicionais com o objetivo de nos inteirar das várias facetas do problema, como por exemplo, adição de propriedades do fluido tais como viscosidade, pressão,

velocidades de escoamento (número de Reynolds altos). Este problema já é bastante estudado e, no entanto ainda com muito a ser explorado.

Nossos próximos passos serão o estudo de sistemas envolvendo mistura de fluidos considerando as propriedades acima citadas (viscosidade, pressão, velocidade de escoamento, número de Reynolds altos), e seus efeitos sobre o regime de escoamento desses fluidos.

## **Apoio**

Agradeço ao Departamento de Física da UFPI pela disponibilidade de recursos computacionais e infra-estrutura.

## **Referencias Bibliográficas**

[1] AZEVEDO, R. M. Simulação de Fluidos em um Meio Poroso Através de Autômatos Celulares de Gás na Rede-Dissertação de Mestrado defendida em fevereiro de 2007, Departamento de FÍSICA-UFPE, orientador: Mauricio D. Coutinho Filho.

[2] WOLF-GLADROW, D. D. Lattice Gas Cellular Automata and Lattice Boltzmann Models: An Introduction, Springer, 2000

[3] ROTHMAN D. e ZALESKI S., Lattice Gas Cellular Automata: Simple Models of Complex Hydrodynamics, Cambridge University Press, 1977.

[4] GOULD, H., TOBOCHNIK, J., CRISTIAN, W. An Introduction to Computer Simulation Methods Pearson, 3<sup>a</sup> ed., Addison Wesley, 2006. U. Frisch, B. Hasslacher e Y. Pomeau, Phys. Rev. Lett. 56 1505 (1986).

**Palavras-chave:** Fluido incompressível. Escoamento bidimensional. Autômato Celular de Gás na Rede.