

Introdução à Simulação Numérica de Escoamentos de Fluidos Magnéticos

{ Ataias Reis - ataiasreis@gmail.com } { Yuri Dumaresq - Y.D.Sobral@mat.unb.br } { Francisco Ricardo - frcunha@unb.br }
Universidade de Brasília, Departamento de Matemática

1. INTRODUÇÃO

Objetivo

- Desenvolver um código de computador que resolva a equação de Navier Stokes

$$\left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla p + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f}, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (2)$$

numa cavidade para simular o escoamento de um fluido magnético[7] sob ação de um campo magnético aplicado no regime superparamagnético, isto é,

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H}. \quad (3)$$

Por quê?

- O caso superparamagnético já é conhecido e serve como validação do código.

- Deseja-se simular a equação de Shliomis[8]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} &= -c_1 [\mathbf{M} - \mathbf{M}_0] + c_2 [(\mathbf{M} \times \mathbf{H}) \times \mathbf{M}] \\ &+ \frac{1}{2} (\nabla \times \mathbf{v}) \times \mathbf{M}, \end{aligned} \quad (4)$$

uma equação constitutiva para a evolução do campo magnético, e comparar seus resultados com os do caso superparamagnético.

2. METODOLOGIA

As seguintes ferramentas e técnicas foram muito utilizadas no projeto.

- Julia [2] - uma linguagem de programação
- GitHub Ferrofluidos[6] - repositório online do projeto
- Matplotlib [5] - biblioteca gráfica
- Time-splitting [4] - técnica para se resolver a equação de Navier Stokes
- Staggered-grid [3] - tipo de malha que é utilizada para diminuir erros no cálculo da pressão
- Diferenças finitas - método usado para discretizar equações

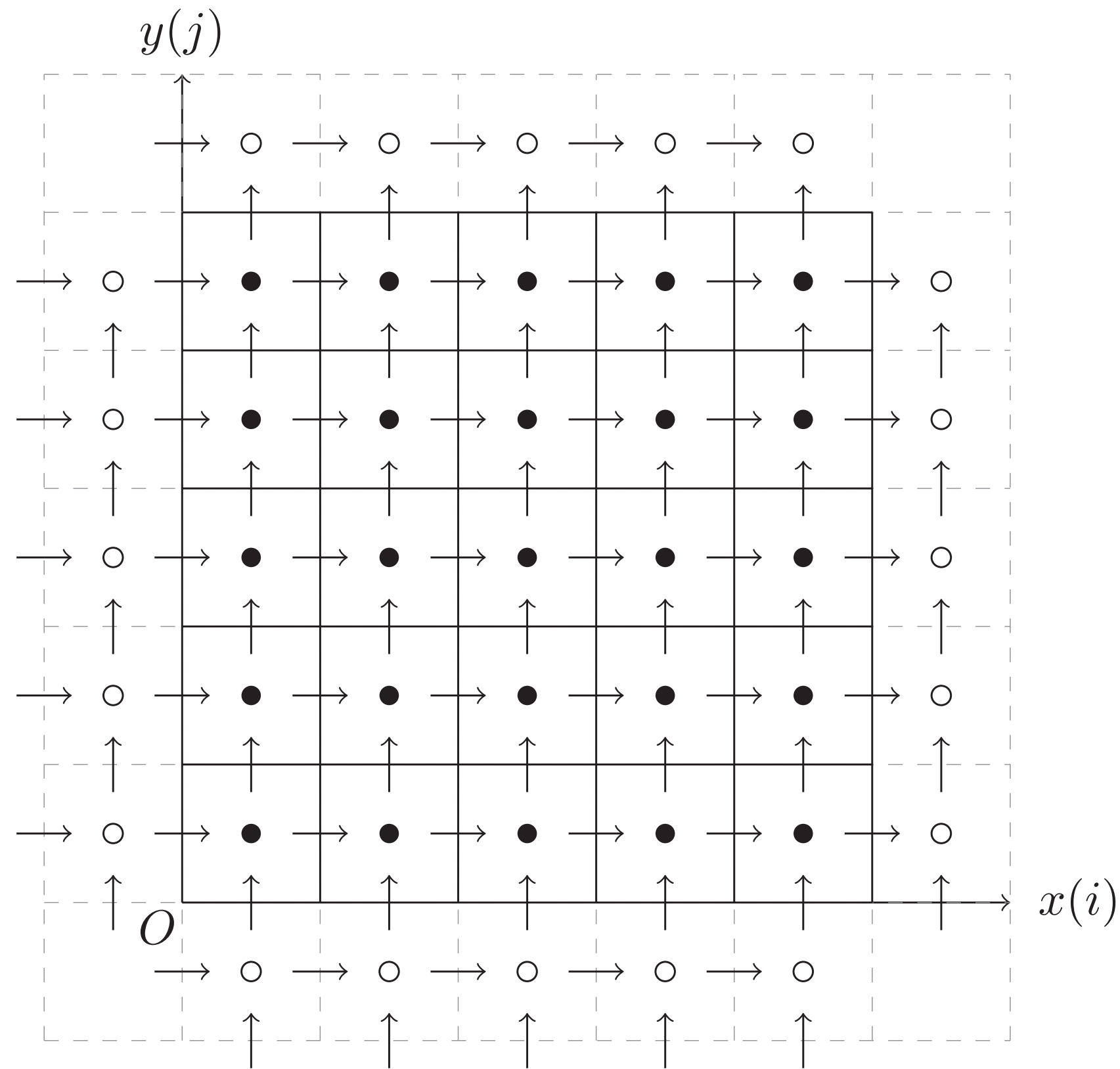


Figura 1: Malha escalonada

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos pelo apoio financeiro a este trabalho que foi dado pelo CNPq, FAP-DF e Finatec.

3. RESULTADOS

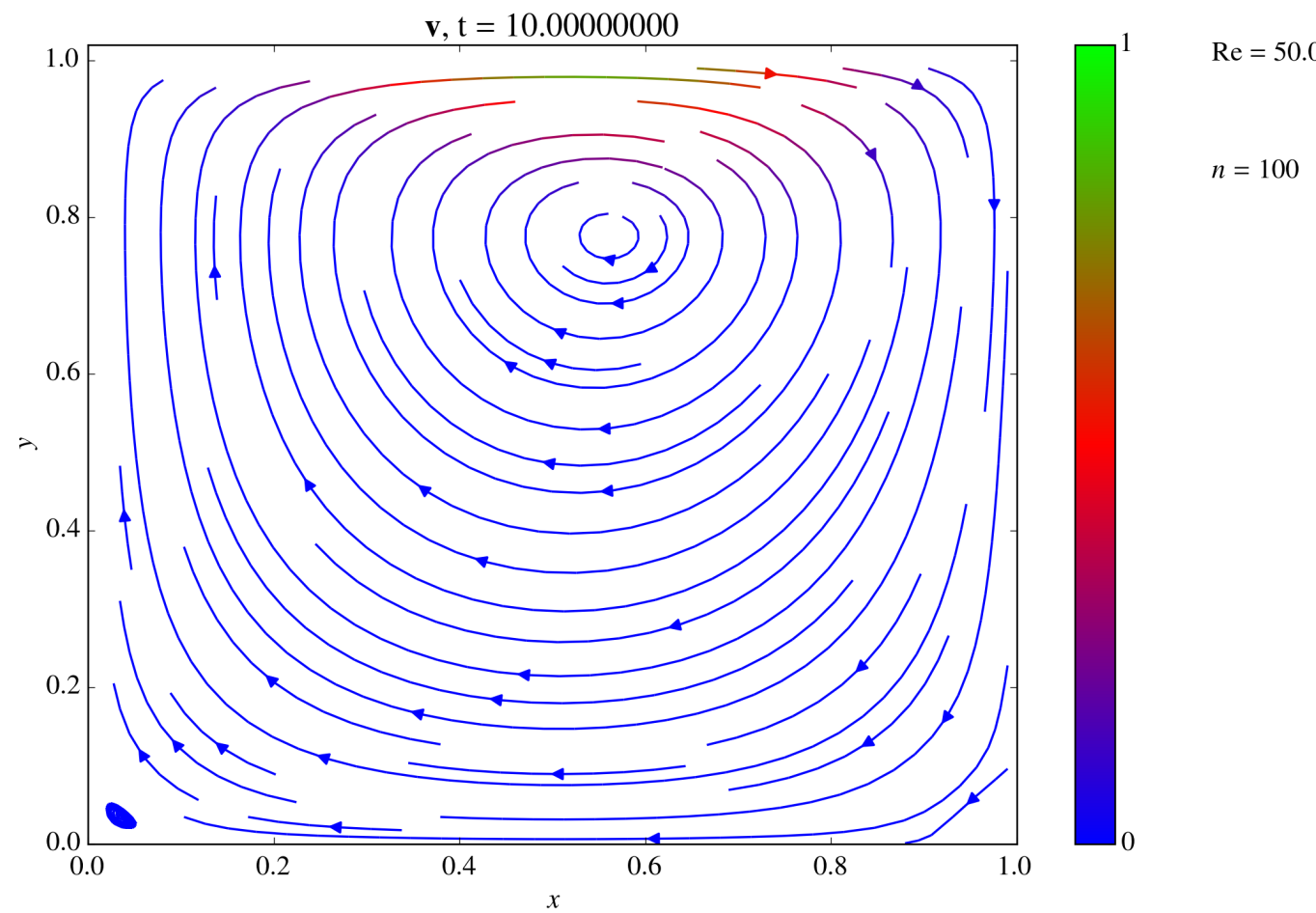


Figura 2: Linhas de velocidade em regime sem campo aplicado

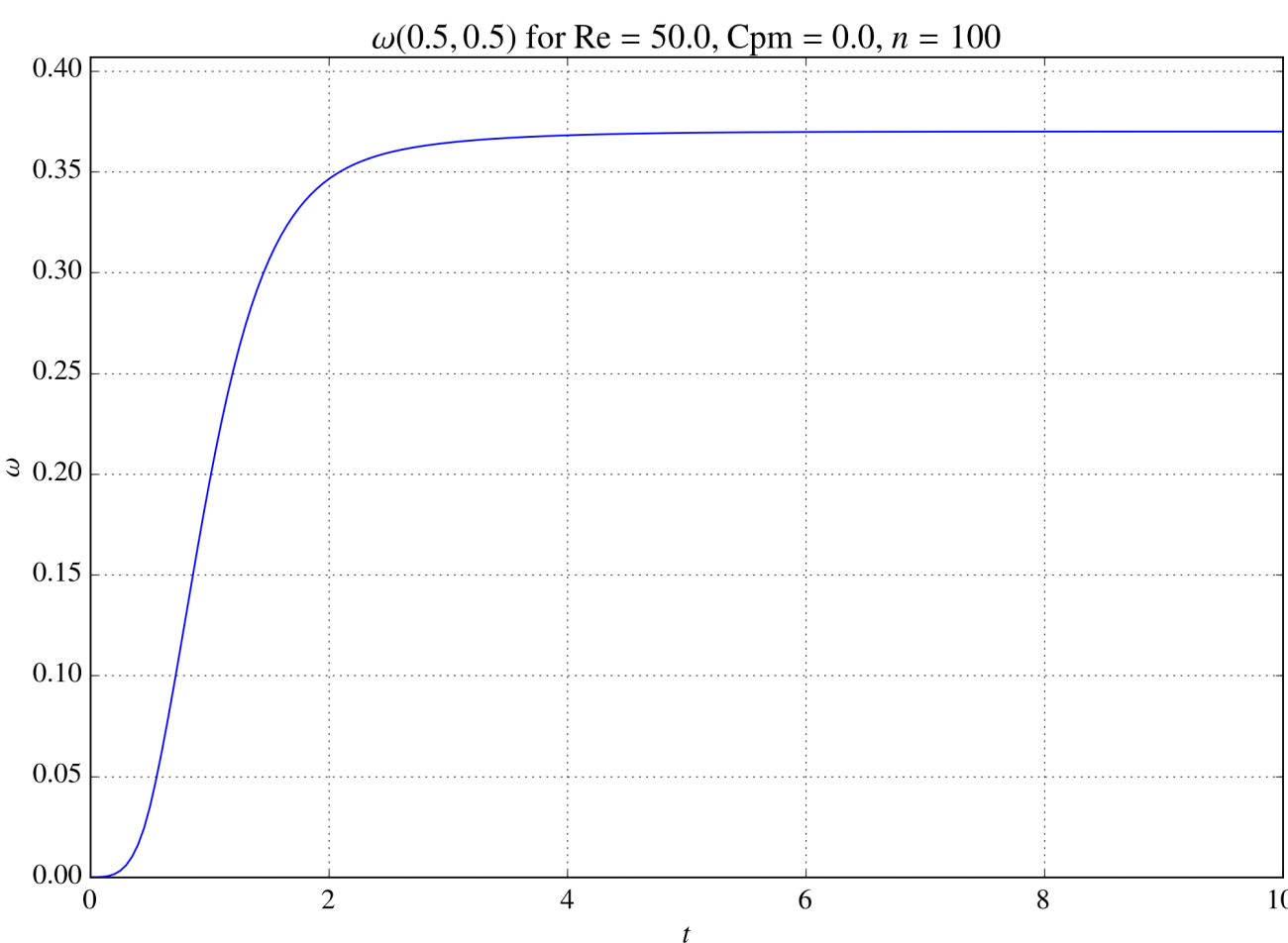


Figura 3: Evolução da vorticidade em (0.5,0.5) sem campo aplicado

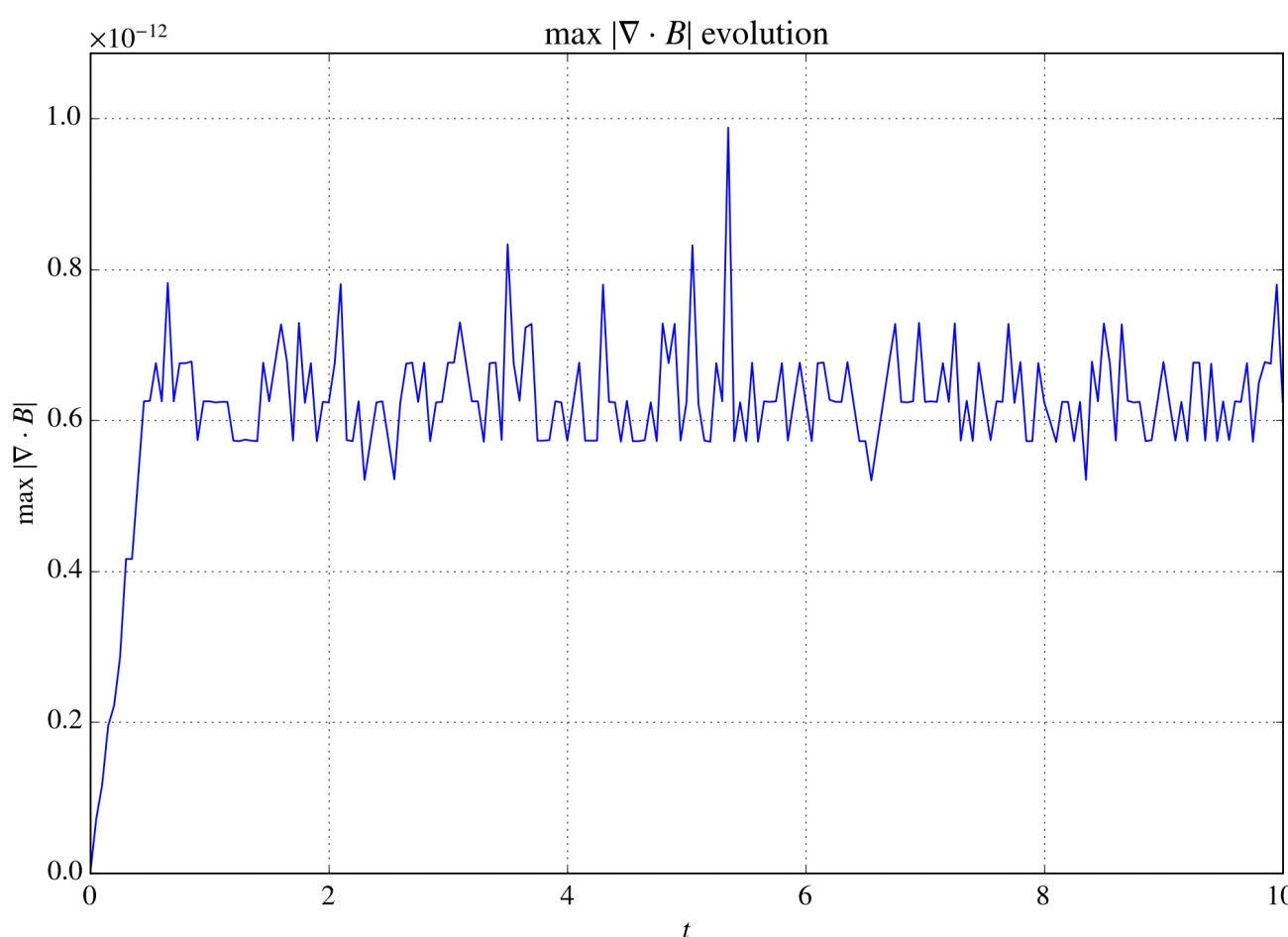


Figura 4: $\nabla \cdot \mathbf{B}$ máximo calculado na malha

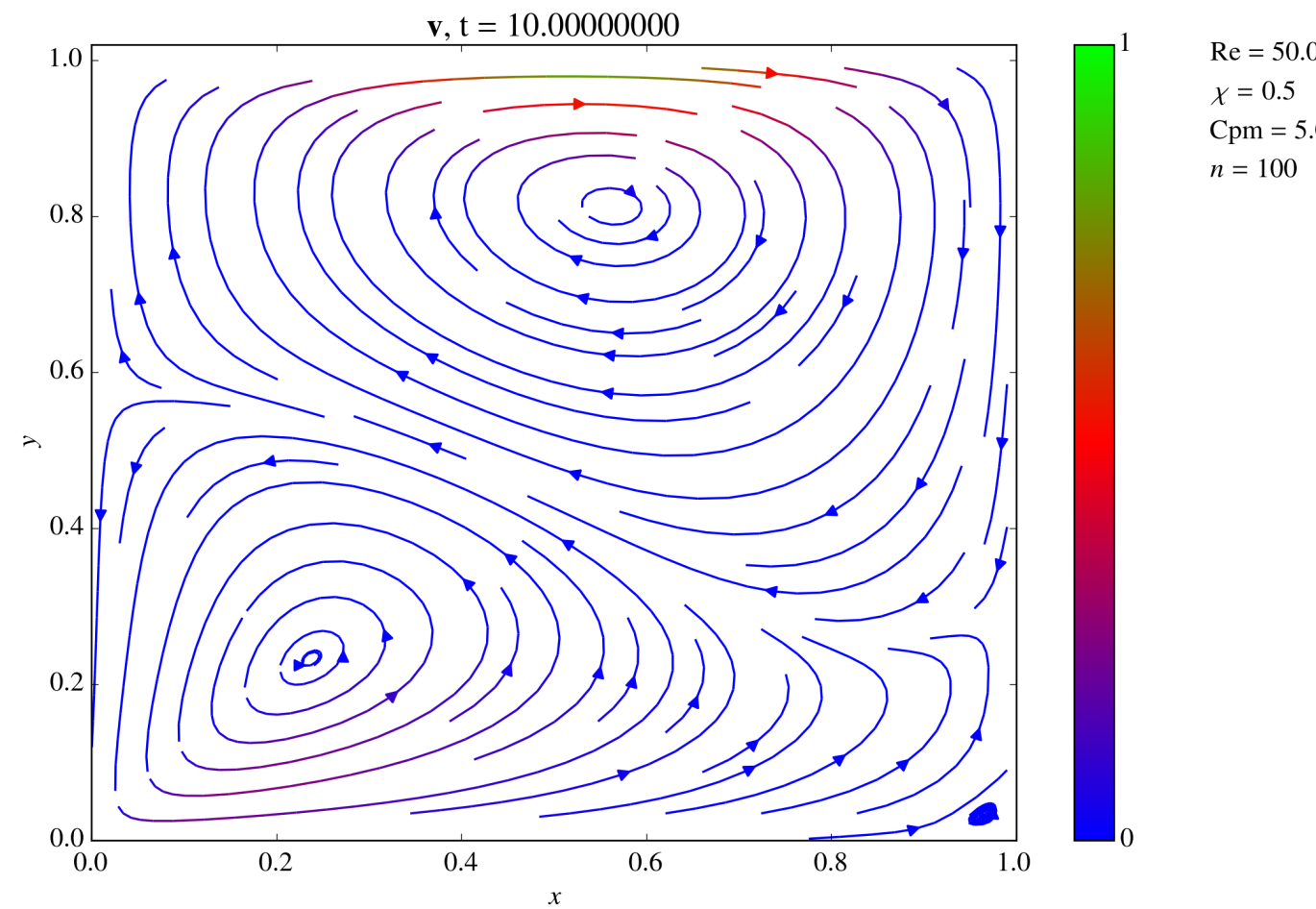


Figura 5: Linhas de velocidade em regime com campo aplicado

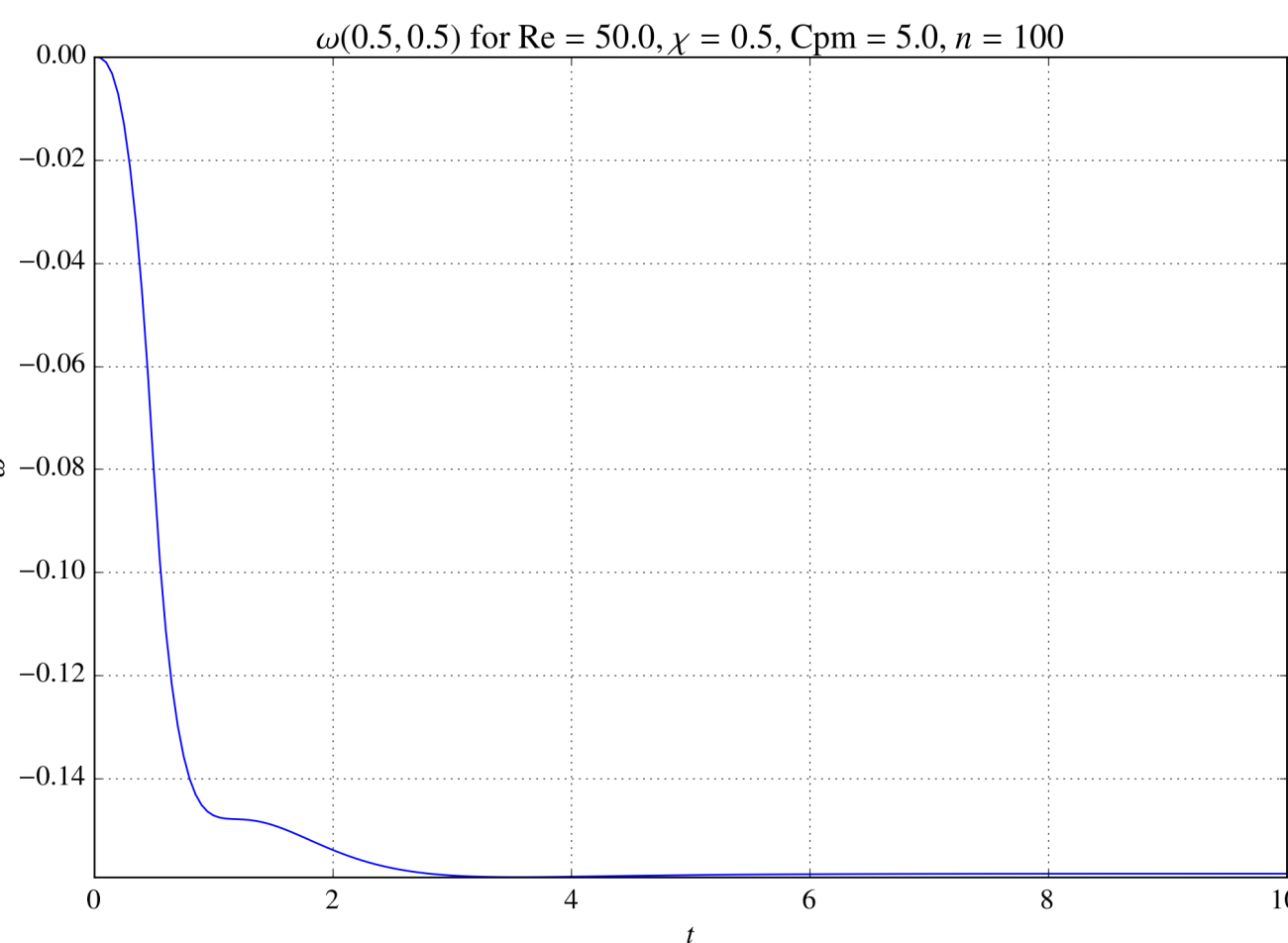


Figura 6: Evolução da vorticidade em (0.5,0.5) com campo aplicado

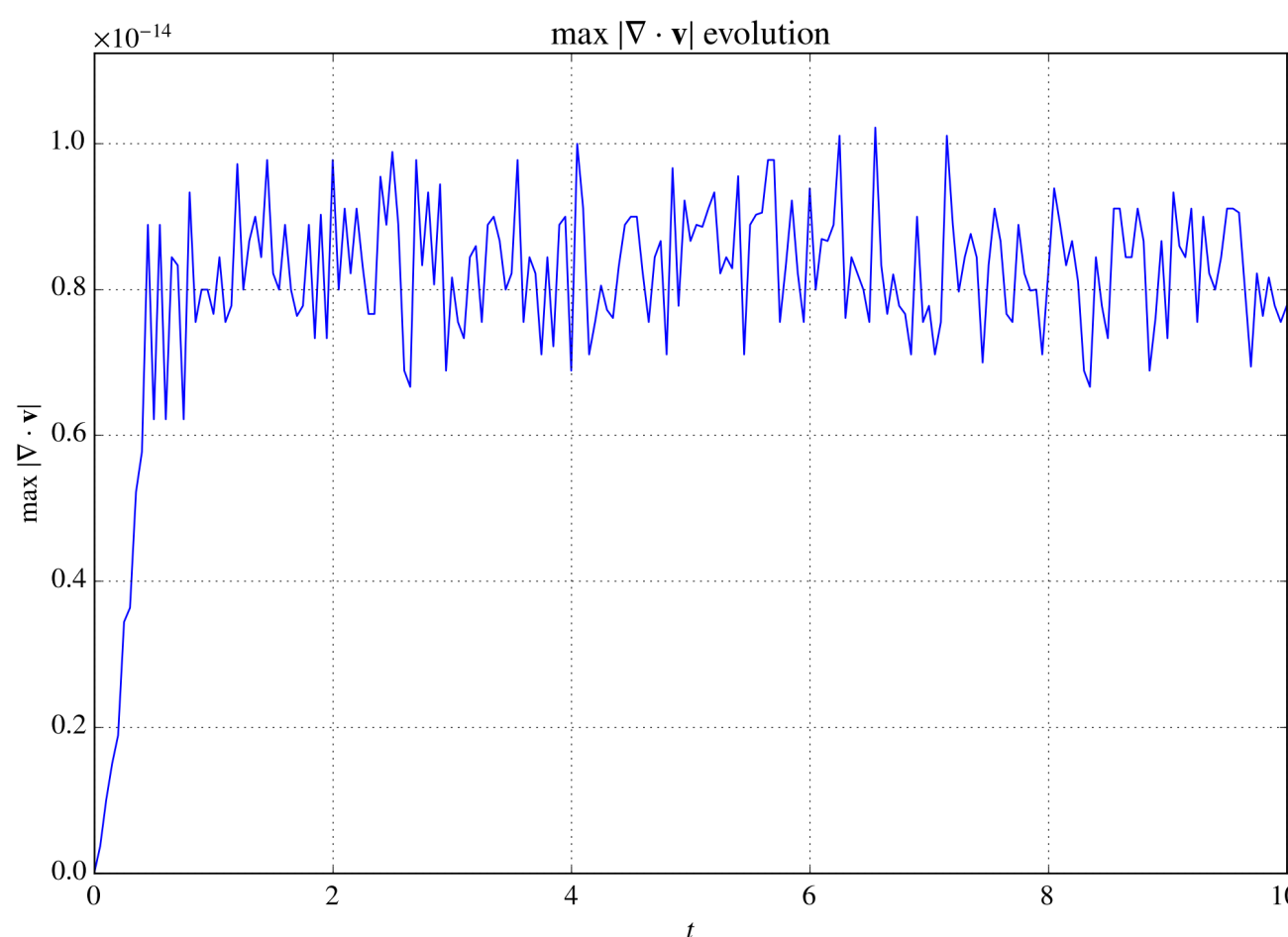


Figura 7: $\nabla \cdot \mathbf{v}$ máximo calculado na malha

5. FUTURE RESEARCH

- Integrate NiosII-cache with fingerprinting unit and a uTLB (micro-TLB)
- Assess whether overall system satisfies time-constraints
- Identify possible sources of misbehaving
- Assess performance compared to using a scratchpad instead of a cache

REFERÊNCIAS

- [1] Alexandre Joel Chorin. A numerical method for solving incompressible viscous flow problems. *Journal of Computational Physics*, 135(2):118 – 125, 1997.
- [2] NumFocus Foundation. The Julia Language. Disponível <http://julialang.org>, versão 0.3.11.
- [3] E.J. Hinch. Lecture notes on computational methods in fluid dynamics: Part i - a first problem., 2006.
- [4] Chorin A. J. Numerical solutions of the Navier-Stokes Equations. *AMS*, February 1968.
- [5] Eric Firing Michael Droettboom John Hunter, Darren Dale and the matplotlib development team. matplotlib: python plotting. Available at <http://matplotlib.org>, version 1.4.3.
- [6] Ataias Pereira Reis. Repositório Git: ferrofluidos. Disponível em <https://github.com/ataias/ferrofluidos>.
- [7] R E Rosensweig. Magnetic fluids. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 19(1):437–461, 1987.
- [8] J. P. Shen and Masao Doi. Effective viscosity of magnetic fluids. *Journal of the Physical Society of Japan*, 59(1):111–117, 1990.
- [9] E.E. Tzirtzilakis and M.A. Xenos. Biomagnetic fluid flow in a driven cavity. *Meccanica*, 48(1):187–200, 2013.