Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 5, N. 1, 2017.

Trabalho apresentado no CNMAC, Gramado - RS, 2016.

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Escoamentos de fluidos magnéticos em cavidades

Camila de Oliveira Vieira[1]
Departamento de Matemática, UnB, Brasília, DF
Yuri Dumaresq Sobral[2]
Departamento de Matemática, UnB, Brasília, DF
Francisco Ricardo da Cunha[3]
Departamento de Engenharia Mecânica, UnB, Brasília, DF
Ataias Pereira Reis[4]
Departamento de Matemática, UnB, Brasília, DF

1 Introdução

Fluidos magnéticos, ou ferrofluidos, são materiais compostos por nanopartículas magnetizáveis diluídas em uma suspensão líquida não-magnética. Ao interagirem com um campo magnético aplicado, as nanopartículas se magnetizam e o fluido adquire uma magnetização. Como consequência, seu movimento é afetado pelo campo magnético e, de fato, é possível controlar remotamente escoamentos de ferrofluidos a partir de campos magnéticos. Especificamente, neste trabalho testamos diversas configurações de escoamentos de ferrofluidos em uma cavidade retangular, com uma das fronteiras em movimento. Um estudo similar foi recentemente desenvolvido por [4], numa cavidade quadrada em que o campo magnético é localizado e permanente. Neste trabalho, utilizaremos uma formulação vorticidade-função de corrente para resolvermos o escoamento e o campo magnético será localmente resolvido instantaneamente. Além disto, testaremos diferentes modelos constitutivos de magnetização para o ferrofluido.

2 Descrição do Problema

Este estudo foi feito para ferrofluidos não condutores, isto é, considerou-se o limite magnetostático das Equações de Maxwell. As equações governantes são a equação da continuidade e de Navier-Stokes, respectivamente:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \tag{1}$$

[1]vieira_camilla@yahoo.com.br
[2]yurisobral@gmail.com
[3]frcunha2@gmail.com
[4]ataiasreis@gmail.com

e

$$\rho\Big(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u}\cdot\nabla\mathbf{u}\Big) = -\nabla p + \mu\nabla^2\mathbf{u} + \mu_0\mathbf{M}\cdot\nabla\mathbf{H}, \tag{2}$$

em que o termo $\mu_0\mathbf{M}\cdot\nabla\mathbf{H}$, chamado de força de Kelvin, é responsável por trazer os efeitos magnéticos para o modelo. Neste termo, M representa a magnetização do fluido e H o campo magnético. Reescrevendo as equações (1) e (2) utilizando a formulação vorticidade-linha de corrente, resultamos em um sistema com uma equação de Poisson para a função de corrente (ψ) e uma equação da advecção para a vorticidade (ξ), respectivamente:

$$\nabla^2\psi = -\xi, \tag{3}$$

$$\frac{\partial\xi}{\partial t} + \frac{\partial(\xi,\psi)}{\partial(x,y)} = \frac{1}{Re}\nabla^2\xi + \frac{1}{Re_m}\nabla\times f_m. \tag{4}$$

Estas equações foram adimensionalizadas de forma a identificar os parâmetros físicos do problema como: número de Reynolds, $Re = \frac{L_1\rho U}{\mu}$, em que $L_2 \leqslant L_1$ e número de Reynolds Magnético, $Re_m = \frac{\rho U^2}{\mu_0 H_0^2}$. No regime magnetostático, o campo magnético pode ser descrito por um potencial magnético, $\mathbf{H} = -\nabla\phi$, que satisfaz a equação:

$$\nabla^2\phi = -\nabla\cdot\mathbf{M}, \tag{5}$$

em que é resolvida a cada passo de tempo, com condições de contorno da magnetostática, e com a magnetização M calculada a partir de uma equação constitutiva. Existem diversas equações constitutivas para a magnetização, mas a falta de um conhecimento mais profundo da microestrutural de ferrofluidos em escoamentos não nos permite propor um modelo definitivo, veja [1, 2]. O modelo mais simples é considerar o regime superparamagnético, isto é, quando a magnetização está alinhada com o campo magnético [1]. Também testamos versões da equação de Shliomis [2, 3].

Foi escrito um código em diferenças finitas, de segunda ordem no espaço, primeira ordem no tempo. Os sistemas resultantes para as Equações de Poisson discretizadas foram resolvidas pelo método iterativo de Gauss-Seidel. As condições de contorno para ξ foram obtidas por extrapolação e $\psi = 0$ nas fronteiras.

Apresentaremos detalhes do escoamento para diferentes valores dos parâmetros adimensionais e diferentes campos aplicados, assim como buscaremos diferentes modelos de magnetização que levam em conta o escoamento.

Referências

[1] R. E. Rosensweig. *Ferrohydrodynamics.* Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

[2] M. I. Shliomis. Effective viscosity of magnetic suspensions, *Soviet Phys JETP*, 6:1291-1294, 1972.

[3] M. I. Shliomis. Magnetic Fluids, *Soviet Phys Uspekhi*, 2:153-169, 1974.

[4] E. E. Tzirtzilakis e M. A. Xenis. Biomagnetic fluid flow in a driven cavity, *meccanica*, 48:187-200, 2013. DOI: 10.1007/s11012-012-9593-7.

