

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Utilizando o Método Multigrid para melhorar o desempenho da Simulação do Processo de Aeração

Daniel Rigoni ¹

Matemática Aplicada e Computacional, UNICENTRO, Guarapuava-PR

Jotair Kwiatkowski Jr. ²

Departamento de Computação - DeComp, UNICENTRO, Guarapuava-PR

Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, UFPR, Curitiba-PR

1 Introdução

O desenvolvimento tecnológico e a escala elevada da produção agrícola neste caso específico grãos precisa de estruturas e formas eficientes de armazenamento do produto em silos graneleiros para não contabilizar prejuízos. Uma forma bem difundida é a aeração que consiste na passagem forçada de ar através de uma massa de grãos armazenada, visando prevenir ou solucionar problemas de conservação do produto e secundariamente com o interesse de promover a secagem. A aeração é, atualmente, a técnica mais utilizada para melhorar as condições de secagem e armazenamento. Com isto, o objetivo do trabalho é relacionado a criar programas computacionais para simular tal processo utilizando o modelo de Thorpe(2001) para controlar o sistema de aeração, e efetuar a verificação. Já para melhorar o processo de simulação, ou seja, baixar o tempo de simulação aplicaremos o método Multigrid. O método multigrid (Briggs [1]; Trottenberg [5]) é um dos métodos iterativos mais eficientes e gerais conhecidos para se resolver sistemas de equações. Que consiste em resolver as equações discretas em várias malhas com diferentes níveis de refinamento. Cada malha é responsável por remover um determinado intervalo de frequências de erros, com as malhas grosseiras responsáveis pelo amortecimento das baixas frequências. A medida em que malhas grossas são usadas, há melhora na velocidade de convergência do método. Isto porque, o custo computacional é consideravelmente menor na malha grossa em comparação com a malha fina.

2 Modelo de Thorpe (2001)

O modelo considera as relações psicométricas nas equações de balanço de massa e energia, considerando $R = \frac{\rho_1}{\rho_a}$ e $f_a = \rho_a u_a$. Onde:

U - umidade dos grãos, *b.s.*;

u_a - velocidade de Darcy do ar seco, $m s^{-1}$;

c_σ - calor específico dos grãos, $J kg^{-1} ^\circ C$;

c_1 - calor específico do vapor da água, $J kg^{-1} ^\circ C$;

c_a - calor específico do ar, $J kg^{-1} ^\circ C$;

ρ_a - densidade do ar seco, $kg m^{-3}$;

¹danirigoni.dr@gmail.com

²jotairkw@yahoo.com.br

ρ_1 - densidade do vapor da umidade do ar intersticial, $kg\ m^{-3}$;
 ρ_σ - densidade dos grãos, $kg\ m^{-3}$;
 H_W - calor de umedecimento dos grãos, $J\ kg^{-1}$;
 h_v - entalpia específica de vaporização da água, $J\ kg^{-1}$;
 θ - temperatura dos grãos, $^\circ C$;
 k_{eff} - condutividade térmica da massa de grãos, $W\ m^{-1}\ s^{-1}$;
 ε - porosidade da massa de grãos, decimal;
 Δy - altura da camada, m ;
 t - tempo, s ;
 $\frac{dm}{dt}$ - perda de materia seca em relação ao tempo, $kg\ s^{-1}$;
 Q_R - calor de oxidação dos grãos, $J\ s^{-1}\ m^{-3}$.

$$\left\{ \rho_\sigma(1 - \varepsilon) \left[c_\sigma + c_1 U + \frac{\partial H_w}{\partial \theta} \right] + \varepsilon \rho_a \left[c_a + \left(c_1 + \frac{\partial h_v}{\partial \theta} \right) \right] \right\} \frac{\partial \theta}{\partial t} = \rho_\sigma(1 - \varepsilon) h_s \frac{\partial U}{\partial t} +$$

$$- f_a \left\{ c_a + R \left(c_1 + \frac{\partial h_v}{\partial \theta} \right) \right\} \frac{\partial \theta}{\partial y} + k_{eff} \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + (1 - \varepsilon) \rho_\sigma \frac{dm}{dt} (Q_R - 0,6 h_v) \quad (1)$$

e

$$(1 - \varepsilon) \rho_\sigma \frac{\partial \theta}{\partial t} = - f_a \frac{\partial R}{\partial y} + \frac{dm}{dt} (0,6 + U) \quad (2)$$

Segundo Muir [2], a condutividade térmica k_{eff} pode ser desconsiderada, como o modelo apresentado é unidimensional o termo $k_{eff} \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2}$, não apresentou grande importancia durante as simulações. Segundo Close e Banks, citados por Navarro [3], o termo $\frac{\partial H_w}{\partial \theta}$ pode ser negligenciado pois apresenta valores incoerentes. O modelo foi discretizado por diferenças finitas utilizando o método explícito de Euler.

3 Conclusão

As simulações mostraram que a taxa de resfriamento varia de acordo com o processo de simulação da aeração, verificou-se também que onde a entrada de ar é mais fresco o grão de soja tem um resfriamento rápido, pois ainda o ar não sofre com a resistência da massa de grãos. Observou-se que nas camadas mais próximas a entrada de ar, conforme previamos interpretando fisicamente ocorre uma variação significativa da temperatura dos grãos melhorando seu tempo computacional quando utilizado o método multigrid.

Referências

- [1] W. L. Briggs, V. E. Henson, S. F. McCormick. *A Multigrid Tutorial*, second ed., SIAM, 2000.
- [2] E. W. Muir, S. D. Jayas. *Temperatures of Stored Grains and Oilseeds*. National Science Programs. 2003.
- [3] S. Navarro, R. Noyes. *The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management*. CRC PRESS: New York, 2001.
- [4] G. R. Thorpe. *Physical Basis of Aeration*. In Navarro e Noyes, *The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management*. chapter 4. . CRC PRESS: USA, 2001.
- [5] U. Trottenberg, C. Oosterlee, A. Schüller. *Multigrid*, Academic Press, 2001.