

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

## Modelagem Matemática da Transferência de Calor em Silos de Soja

Fabricio Rech<sup>1</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng, UNIJUÍ, Ijuí, RS

Manuel Osório Binelo<sup>2</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng, UNIJUÍ, Ijuí, RS

Oleg Khatchatourian<sup>3</sup>

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias DCEEng, UNIJUÍ, Ijuí, RS

### 1 Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores do mundo de soja, e após a colheita os grãos precisam ficar armazenados por longos períodos em silos, e um dos modelos mais utilizados é o de silos verticais. Estes silos são geralmente equipados com um sistema de termometria composto por uma série de sensores de temperatura distribuídos na massa de grãos, e sistema de aeração, composto por ventiladores e dutos que forçam a passagem do ar por entre os grãos diminuindo sua temperatura e mantendo o produto em boas condições [3]. Estes equipamentos demandam bastante energia e a otimização de seu uso é fundamental. Para esta otimização é importante conhecer o processo de transferência de calor entre e ar e os grãos [1]. Este trabalho tem como objetivo realizar a modelagem matemática da transferência de calor em silos verticais de soja, e por meio do modelo desenvolvido prever quais os momentos ideais para a utilização dos ventiladores de aeração.

### 2 Materiais e Métodos

Para a criação e parametrização do modelo estão sendo obtidos dados experimentais de uma unidade de armazenamento de soja localizada no município de Pérola do Oeste, Paraná, Brasil. A unidade é composta de quatro silos verticais onde o produto pode ficar armazenado por vários meses. Desde o recebimento da soja estão sendo obtidos os dados de temperatura dos grãos armazenados, estas são leituras feitas diariamente; além dos intervalos de funcionamento do sistemas de aeração e as condições do ar durante o dia (temperatura e umidade). Também estão sendo recolhidas amostras de umidade do grão armazenado para verificar eventuais alterações no estado do grão armazenado.

---

<sup>1</sup>fabriciorech@hotmail.com

<sup>2</sup>manuel.binelo@unijui.edu.br

<sup>3</sup>olegkha@unijui.edu.br

O modelo matemático proposto por este trabalho para a simulação da transferência de calor no silo de armazenagem foi obtido pela simplificação do sistema de equações usado por [2] para calcular o processo de secagem de grãos. Em grãos armazenados, a umidade muda muito lentamente, portanto as equações que tratam da mudança de umidade foram eliminadas do sistema. O modelo resultante é composto por um sistema de duas equações diferenciais parciais que descrevem a conservação de energia do ar e da massa de grãos:

$$\frac{\partial Ta}{\partial t} + v \frac{\partial Ta}{\partial y} = \frac{-(1 - \varepsilon)\Phi_m c_{pv}(Tg - Ta) + \Phi_h}{\rho_a \varepsilon (c_{pa} + c_{pv}W)}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Tg}{\partial t} = \frac{a \{ \Phi_h - \Phi_m [H_v + (c_{pv} + c_{pw})Tg] \}}{\rho_g (c_g + M c_{pw})}. \quad (2)$$

Onde  $M$  é a umidade do grão,  $a$  é a razão entre a área de superfície do grão e seu volume em  $m^{-1}$ ;  $H_v$  é o calor latente da vaporização da água em  $Jkg^{-1}$ ;  $c_g$  é o calor específico do grão em  $Jkg^{-1}K^{-1}$ ;  $c_{pw}$  é o calor específico da água em  $Jkg^{-1}K^{-1}$ ;  $\rho_g$  é a massa específica do grão em  $kgm^{-3}$ ;  $\rho_g$  é a massa específica do ar em  $kgm^{-3}$ ;  $\sigma$  é a porosidade;  $v$  é a velocidade vertical do ar em  $ms^{-1}$ ;  $Ta$  é a temperatura do ar em  $^{\circ}C$ ;  $Tg$  é a temperatura do grão em  $^{\circ}C$ ;  $\Phi_h$  é o fluxo de calor em  $Wm^{-2}$  e  $\Phi_m$  é o fluxo de massa em  $kgm^{-2}s^{-1}$ . Para os cálculos do estado térmico do silo o fluxo de massa é considerado igual a zero, i.e.  $\Phi_m = 0$ .

### 3 Resultados e Conclusões Parciais

O trabalho encontra-se na fase de obtenção de dados e verificação do modelo. Até o momento a quantidade de dados que foi obtida ainda não permite uma análise completa da acurácia do modelo. Os autores esperam concluir a coleta de dados experimentais em três meses, o que permitirá verificar a capacidade do modelo em prever a transferência de calor durante o processo de aeração da soja.

### Referências

- [1] O. A. Khatchatourian, F. A. Oliveira, A. Bihain, Estado térmico de produtos armazenados em silos com sistema de aeração: estudo teórico e experimental, *Engenharia Agrícola*, 27:247-258, 2007.
- [2] O. A. Khatchatourian, H. A. Vielmo e L. A. Bortolaia. Modelling and simulation of cross flow grain dryers, *Biosystems Engineering*, 116(4), 335-345, 2013.
- [3] E. A. Weber. *Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos*, Salles, Kepler Weber Industrial, Canoas, RS, 2005.