

Modelagem Matemática do Resfriamento de Grãos de Soja em Silos com Aeração utilizando o Modelo de Reator Ideal Homogêneo.

Alice A. De Miranda*, **Fabiane A. de Oliveira†**, **Oleg A. Khatchatourian††**

Depto de Física, Estatística e Matemática
DeFEM, UNIJUI,
Rua: São Francisco - 501, Ijuí, RS
E-mail: mirandaalice@bol.com.br, fabiane@unijui.tche.br,
olegkha@unijui.tche.br.

Introdução: Para atender o aumento da população e a expansão da agroindústria é necessário que se procure aumentar a produção sem perder de vista a conservação e a qualidade do produto colhido. O armazenamento adequado permite realizar o equilíbrio entre um consumo regular e uma produção concentrada no tempo sujeita a fortes flutuações próprias do clima, além de permitir também, conservar de um ano para o outro, diversas quantidades de produtos. A estocagem demanda, periodicamente, um aprimoramento das técnicas de conservação e novos dimensionamentos em face de uma maior produção. Para isto, é inevitável ter conhecimento das características dos grãos armazenados e os fatores que alteram sua qualidade [1,2].

Atualmente, a aeração é o método de controle mais difundido e utilizado na preservação dos grãos armazenados. Esta consiste na passagem forçada do ar ambiente pela massa de grãos de tal forma a modificar o micro-clima da massa de grãos, criando condições para o não desenvolvimento de organismos que influencia na preservação contínua da qualidade dos grãos. A aeração é uma operação que se não for bem conduzida pode causar perda por aquecimento, fermentação e perda excessiva de teor de umidade, e é altamente dependente das condições climáticas locais. Dessa forma, a eficiência de um sistema de aeração está centrada no fato de se conseguir um fluxo de ar uniforme em todas as regiões do silo[3].

Pesquisas diversas estão sendo desenvolvidas a fim de estudar o comportamento dos grãos armazenados e encontrar soluções para os problemas de armazenamento, otimizando o processo de aeração, evitando custos adicionais para manutenção da qualidade dos grãos e, minimizando as perdas.

Descrição do Problema: No presente trabalho, propõe-se um modelo para tratar a dinâmica de resfriamento de uma massa de grãos previamente aquecidos sujeitos à aeração a temperatura ambiente. O modelo consiste em dividir a massa de grãos, que estão armazenados e aquecidos, em camadas finas e considerar que o sistema formado pelo ar (frio) e pelo grão (quente) em cada camada atingirá o equilíbrio térmico depois de decorrido um certo tempo. Toma-se como hipótese, também, que exista conservação de energia entre os grãos e o ar em cada camada (modelo tipo reator ideal homogêneo).

O modelo matemático considera que a temperatura, depois de decorrido um instante de tempo, é a mesma para todos os grãos da camada (inicialmente quentes) e o ar que entra em contato com esta (inicialmente frio), sendo possível assim, calcular esta temperatura de equilíbrio como função do tempo e a posição das camadas na massa de grãos.

Modelo Matemático:

Considera-se que a entalpia do ar (I_a) que entra na camada é dada pela expressão:

$$I_a = c_{pa} T_a m_a \quad (1)$$

onde c_{pa} é o calor específico do ar, m_a é a massa do ar que entra em contato com a camada de grãos, T_a é a temperatura inicial do ar que entra na camada.

A expressão para a entalpia do grão (I_g) é dada por:

$$I_g = c_{pg} T_g m_g \quad (2)$$

onde m_g é a massa do grão contida na camada, c_{pg} é o calor específico do grão e T_g é a temperatura inicial do grão na camada.

Considera-se a conservação da entalpia quando ocorre a mistura de grão e ar, com isto tem-se:

$$I_a + I_g = I_m \quad (3)$$

e

$$c_{pg} T_g m_g + c_{pa} T_a m_a = c_{pe} T_m (m_g + m_a) \quad (4)$$

onde, T_m é a temperatura de equilíbrio do sistema ar-grão e c_{pe} é o calor específico deste sistema.

O calor específico deste sistema foi considerado como:

$$c_{pe} = \frac{m_g}{m_a + m_g} c_{pg} + \frac{m_a}{m_a + m_g} c_{pa} \quad (5)$$

Pode-se, a partir das expressões (4) e (5) obter-se a temperatura de equilíbrio:

$$T_m = \frac{c_{pg} m_g T_g + c_{pa} T_a m_a}{m_g c_{pg} + m_a c_{pa}} \quad (6)$$

Substituiu-se as massas de ar e grão contidas em cada camada por:

$$m_g = r_g(1 - \epsilon)V \quad m_a = r_a \epsilon V \quad (7)$$

onde $\epsilon=0,39$ é a porosidade dos grãos de soja, $\rho_g=1350 \text{ kg/m}^3$ e $\rho_a=1,1614 \text{ kg/m}^3$ são as densidades do grão e do ar, respectivamente. Os valores de V (volume ocupado pelos grãos) e A (área da seção reta do recipiente onde os grãos estão armazenados) foram calculados a partir dos dados experimentais (tubo cilíndrico de 150 mm de diâmetro) e para realização das simulações numéricas foi utilizado camadas de grãos de 1cm de altura. A velocidade do ar (v) que entra na camada, foi considerada igual a velocidade de aeração e a mesma para todas as camadas. O tempo (t) considerado nas simulações foi de 60 segundos.

Descrição do Equipamento e Resultados:

Para comparar os resultados obtidos através das simulações numéricas utilizando este modelo, foram realizados experimentos de resfriamento de grãos de soja em um cilindro de 150mm de diâmetro isolado nas laterais e preenchido com uma coluna de 60 cm de grãos. Os grãos utilizados para os experimentos são grãos de soja tipo indústria, com um teor de umidade média de 13% (base úmida b.u)[4].

No cilindro foram colocados sensores de temperatura (termopares tipo K), distribuídos em diferentes alturas, $z=0,03\text{m}$; $z=0,15\text{m}$; $z=0,27\text{m}$ e $z=0,40 \text{ m}$. O sistema de aeração era composto por um ventilador centrífugo, um conversor de frequência e uma placa de orifício ligada a um manômetro tipo U para medir a velocidade do ar utilizado na aeração.

Na figura (1), são apresentados os resultados dos cálculos realizados utilizando este modelo e os dados experimentais para uma velocidade de aeração $v=0,13 \text{ m/s}$:

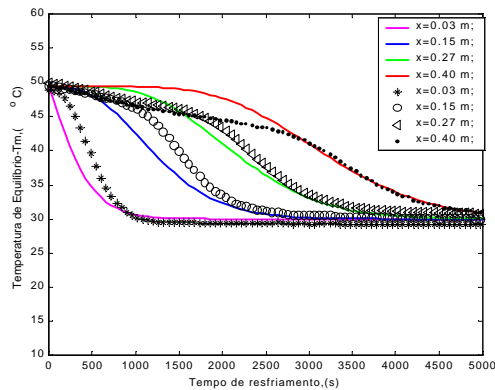


Figura 1- Temperatura de equilíbrio em função do tempo para várias posições: simulação(linhas) e experimental(valores discretos).

A partir do modelo teórico é possível descrever satisfatoriamente o comportamento das curvas de resfriamento de grãos de soja, pois o modelo proposto apresenta resultados satisfatórios em comparação com os dados experimentais.

*Aluna do curso de Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI

† orientadora

†† co-orientador

Referências:

- [1] Andrade, E.T.; Molin, L.; Couto, S.M.; Cardoso, E.G. Distribuição de Temperatura em Grãos Armazenados em Silos: Modelagem por Elementos Finitos. Revista Brasileira de Armazenamento. Viçosa (26), pg.28-35.2001.
- [2] Borges, P.A.P.; Modelagem Matemática dos Processos envolvidos nos Sistemas de Secagem e Armazenamentos de Grãos. Tese de doutorado, Porto Alegre, 2002.
- [3] Puzzi, D. Manual de Armazenamento de grãos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda. 1977.
- [4] Wendt, A. P. Modelagem Matemática do Resfriamento de Grãos de Soja. Dissertação de Mestrado. Ijuí. 2005.