

Minimização do gasto energético no processo de secagem intermitente de grãos de arroz

RESUMO

Jordana Rafaela Sala Colombo
jordanacolombo@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Danielle Gonçalves de Oliveira Prado
danielle@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Rafael Oliveira Defendi
rafaeldefendi@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

A produção de grãos é sazonal e o consumo do mercado é ininterrupto, sendo que o armazenamento desses produtos é essencial para suprimento da demanda do mercado. Neste contexto, o processo de secagem é de grande importância para o armazenamento, pois permite auxiliar na preservação da qualidade dos grãos. Contudo, durante toda a cadeia produtiva dos grãos, o processo de secagem é uma das etapas que mais demandam consumo de energia. O objetivo do presente trabalho é analisar os gastos energéticos da secagem de arroz por meio de modelos matemáticos, buscando-se determinar as condições operacionais que possibilitem o menor consumo energético referente ao aquecimento do ar. Foram feitas análises em diferentes condições do sistema de secagem, como temperatura ambiente e teor de umidade inicial tanto do ar quanto do grão. As simulações apontaram que por meio da operação intermitente, a qual opera com oscilações na temperatura do ar de alimentação ao longo do tempo, é possível obter um menor consumo de energia, o que poderia reduzir os custos de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem intermitente. Consumo energético. Arroz.

INTRODUÇÃO

Uma vez que a demanda do mercado consumidor de arroz é intermitente e os períodos das safras deste grão são periódicos, o armazenamento deste produto é uma etapa fundamental, a qual possibilita resolver a demanda do mercado. Contudo, podem ocorrer alguns danos físicos, químicos e biológicos durante o armazenamento. Assim é importante diminuir o teor de umidade dos grãos por meio do processo de secagem para reduzir estas perdas (MARTINS *et al.*, 2002; PUZZI, 2000).

Contudo, a demanda energética dos secadores industriais é expressiva, o que pode equivaler a 60% ou até mais de toda energia consumida durante a cadeia produtiva dos produtos agrícolas (SILVA *et al.*, 2000)

A secagem intermitente, a qual se caracteriza por variações nas condições de entrada do ar de secagem como variações na temperatura, vem se apresentando como uma alternativa para minimizar o consumo energético do processo, de forma a possibilitar uma melhora no desempenho do processo. Esta operação permite os efeitos difusivos ocorram em baixas temperaturas, ou até mesmo em temperatura ambiente, após fornecimento de energia em altas temperaturas (DEFENDI *et al.*, 2016b; DEFENDI *et al.*, 2017). Alguns autores observaram a possibilidade da redução do consumo energético do processo com a aplicação da operação intermitente, em comparação com a secagem convencional (DEFENDI *et al.*, 2017; HOLOWATY *et al.*, 2012).

Neste contexto, buscou-se minimizar o gasto energético do processo de secagem com base em modelos matemáticos obtidos da literatura. Objetivou-se minimizar a energia necessária durante o processo de aquecimento do ar de secagem. As otimizações foram conduzidas para diferentes condições operacionais, como temperatura ambiente, teor de umidade de armazenamento e teor de umidade inicial tanto do ar de secagem quanto do grão.

METODOLOGIA

O modelo de Midilli ajustado por Hasan *et al.* (2014), foi utilizado para a simulação da secagem em leito fixo do arroz, conforme apresentado Equação 1.

$$XR = a \exp(-kt^n) + bt \quad (1)$$

Em que t é o tempo de secagem em segundos, XR é uma relação entre os teores de umidade e a , b , n e k são os parâmetros do modelo que foram generalizados por Hasan *et al.* (2014) em função da temperatura do ar (T) e da umidade relativa do ar (UR):

$$XR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

$$a = 1,4548 - 0,0039T + 0,27278UR - 0,0441UR \times T \quad (3)$$

$$b = -0,0002 + 2,25 \times 10^{-6}T + 0,0009UR - 1,41 \times 10^{-5}UR \times T \quad (4)$$

$$k = 0,0057 + 7,42 \times 10^{-6}T + 0,0444UR - 0,0017UR \times T \quad (5)$$

$$n = -0,6156 + 0,0129T - 3,5323UR + 0,2143UR \times T \quad (6)$$

A função objetivo a ser minimizada é a função representada pela Equação (7), a qual representa a energia necessária para aquecer o ar desde a temperatura ambiente até a temperatura de operação.

$$\Delta H = \dot{m} t \Delta \hat{H} = \int \dot{m} t c_p \Delta T \quad (7)$$

Em que, \dot{m} é a vazão mássica de ar em kg/s, ΔH é a variação da entalpia do ar durante o processo de aquecimento em kJ, $\Delta \hat{H}$ é a variação da entalpia específica do ar em kJ/kg e c_p é o calor específico do ar em kJ/kg°C. As modulações impostas na temperatura do ar de secagem foram do tipo degrau. Assim, para uma amplitude de 10°C, uma temperatura central de 55 °C e um valor de período de 30 min, durante o processo de secagem, a temperatura do ar seria 60°C durante os 15 primeiros minutos e 50°C durante os próximos 15 minutos e em sequência e sucessivamente oscilaria novamente entre 60 e 50°C a cada 15 minutos de operação. As otimizações foram realizadas variando-se os valores da temperatura ambiente (T_{amb}), da umidade inicial do grão (X_0), da umidade do ar (Y_g) e os valores de teor de umidade de armazenamento do grão (X_f), conforme apresentado pela Tabela 1

Tabela 1 - Condições para a otimização do consumo energético da secagem de arroz

Parâmetros	Mínimo	Máximo
T_{amb} (°C)	15	25
X_0	0,15	0,3
Y_g (g/m ³)	5	10
X_f	0,11	0,15

Os parâmetros otimizados foram o valor da amplitude, do período e da temperatura central inerente a modulação da temperatura na entrada do secador. O processo de otimização foi submetido às condições apresentadas pela Tabela 2.

Tabela 2 - Restrições dos parâmetros envolvidos na secagem de arroz

Parâmetro	Máximo	Mínimo
Amplitude (°C)	30	0
Temperatura Central (°C)	55	45
Meio Período (s)	3600	300

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as simulações realizadas, pode-se observar que a operação intermitente proporcionou o menor consumo energético do processo para as diferentes condições estudadas, conforme apresentado pelas Tabelas 3, 4, 5 e 6. Estas tabelas comparam respectivamente se a variação da temperatura ambiente, da umidade do ar, do teor de umidade inicial do grão e do teor de umidade de armazenamento impacta no ponto ótimo de mínimo consumo energético.

Tabela 3 - Efeito da variação da temperatura ambiente

T_{amb} (°C)	Y_g (g/m ³)	X_0	Amplitude	Meio Período	$T_{central}$ (°C)	$T_{inicial}$	Gasto energético (KJ)	X_f	Operação
15	5	0,30	3	1056,6	45	Menor valor	441,5	0,11	Intermitente
25	5	0,30	3	1056	45	Menor valor	293,3	0,11	Intermitente

Tabela 4 - Efeito da variação da umidade do ar

T_{amb} (°C)	Y_g (g/m ³)	X_0	Amplitude	Meio Período	$T_{central}$ (°C)	$T_{inicial}$	Gasto energético (KJ)	X_f	Operação
25	10	0,30	16	835,9	45	Menor valor	86,6	0,11	Intermitente
25	5	0,30	3	1056	45	Menor valor	293,3	0,11	Intermitente

Tabela 5 - Efeito da variação da umidade inicial do grão.

T_{amb} (°C)	Y_g (g/m ³)	X_0	Amplitude	Meio Período	$T_{central}$ (°C)	$T_{inicial}$	Gasto energético (KJ)	X_f	Operação
25	5	0,15	3	1059	40	Menor valor	123,8	0,11	Intermitente
25	5	0,30	3	1056	45	Menor valor	293,3	0,11	Intermitente

Tabela 6 - Efeito da variação da umidade final do grão.

T_{amb} (°C)	Y_g (g/m ³)	X_0	Amplitude	Meio Período	$T_{central}$ (°C)	$T_{inicial}$	Gasto energético (KJ)	X_f	Operação
25	5	0,30	3	1135	45	Menor valor	224	0,15	Intermitente
25	5	0,30	3	1056	45	Menor valor	293,3	0,11	Intermitente

Além disso, observa-se que apesar de a operação intermitente ter sido a forma de operação que levou ao menor consumo energético nas diferentes condições operacionais estudadas, em alguns casos, nos quais o valor de amplitude ajustado foi relativamente pequeno (3°C), existe uma tendência do ponto ótimo de operação ocorrer sob operação convencional. Isso se deve ao fato de que pequenos valores de amplitude se assemelham ao comportamento de secagem convencional, ou seja, processos nos quais a temperatura do ar na entrada do secador se mantém constante.

CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos, pode-se concluir com a realização deste trabalho que as condições de operação de secagem de grãos de arroz, como temperatura, umidade inicial do ar e do grão e umidade final do arroz influenciam no consumo energético do processo. Além disso, verificou-se que a operação intermitente se mostrou a mais eficaz para a diminuição do consumo de energia inerente ao aquecimento do ar na alimentação do secador. Estes resultados apontam que o controle da temperatura do ar em função das condições operacionais poderia reduzir o expressivo consumo energético dos secadores.

Energy expenditure minimization in rice grains intermittent drying

ABSTRACT

Grain production is seasonal and market consumption is uninterrupted. Storage of these products is essential to supply the market demand. In this context, drying process is of great importance for storage, since it helps to preserve the quality of grains. However, throughout the grain production chain, the drying process is one of the stages that most require energy consumption. The objective of the present work is to analyze the energy expenditure of rice drying by means of mathematical models, aiming to determine the operational conditions that allow the lowest energy consumption related to air heating. Analyzes were made in different conditions of the drying system, such as ambient temperature and initial moisture content of both air and grain. Simulations indicated that by applying intermittent operation, which operates with oscillations in inlet air temperature, it is possible to obtain a lower energy consumption, which can reduce operating costs.

KEYWORDS: Intermittent drying. Energy consumption. Rice.

REFERÊNCIAS

- DEFENDI, R. O.; NICOLIN, D. J.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. Assessment of the Initial Moisture Content on Soybean Drying Kinetics and Transport Properties, *Drying Technology: An International Journal*, 2016a, 34:3, 360-371.
- DEFENDI, R. O.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. The Air Temperature Modulation Impact on the Drying of Soybeans in Fixed Bed, *Drying Technology: An International Journal*, 2016b, 34:5, 516-529.
- DEFENDI, R. O.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. Optimization study of soybean intermittent drying in fixed-bed drying technology, *Drying Technology: An International Journal*, 2017, 35:1, 125-137.
- HASAN, A. A. M.; BALA, B. K.; ROWSHON, M. K. Thin layer drying of hybrid rice seed, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2014, 7, 169-175.
- HOLOWATY, S. A.; RAMALLO, L. A.; SCHMALKO, M. E. Intermittent drying simulation in deep bed dryer of yerba maté, *Journal of Food Engineering*, 2012, 111, p. 110-114.
- MARTINS, R. M.; FRANCO, J. B. da R.; OLIVEIRA, A. V.; ANGONESE, C. Armazéns para propriedade familiar. In: LORINI, I; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. Armazenagem de Grãos. IBG, Campinas, SP. Cap. 3.2, 2002, p 117 – 155.
- PUZZI, D. Abastecimento e Armazenagem de Grãos. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, SP, 2000.
- SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e Secadores. In Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. SILVA, J. S. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000, 107–138.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar: COLOMBO, J. R. S. et. al. Minimização do gasto energético no processo de secagem intermitente de grãos de arroz. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Jordana Rafaela Sala Colombo
Rua Marçílio Dias, 635, Apucarana, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.



