

## **QUALIDADE INDUSTRIAL DE ARROZ EM FUNÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS NA SECAGEM INTERMITENTE**

Liandro Leite Rodrigues<sup>1</sup>; Matheus Natanael Lemos de Lima<sup>2</sup>; Alberto Conceição da Cunha Neto<sup>3</sup>; Ricardo Scherer Pohndorf<sup>4</sup>; Moacir Cardoso Elias<sup>5</sup>

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., conservação, Industrialização, pós-colheita,

### **Introdução**

O arroz é colhido com umidade inadequada ao correto armazenamento, sendo a secagem uma etapa fundamental e até mesmo compulsória para garantir a qualidade e a conservação do produto até que seja beneficiado na indústria antes de chegar no consumidor (GENKAWA et al., 2008; VANIER et al., 2017). O processo artificial é o mais utilizado, o qual é caracterizado pela passagem forçada do ar pela massa de grãos, proporcionando que sejam secadas grandes quantidades de grãos em tempo reduzido quando comparado com a secagem natural, independente das condições psicrométricas do ar. É um processo de transferência simultânea de calor e de massa. O ar, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor, caracterizando um processo isoentálpico. Os grãos são higroscópicos, por isso sofrem variações no seu conteúdo de água, de acordo com as condições do ar que os rodeia (ELIAS, 2008; CORADI et al., 2020). A secagem intermitente é caracterizada pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos em movimento de recirculação do grão no secador. Com isto, a difusão da água do interior para a periferia do grão e a evaporação da água superficial se dão de uma maneira mais branda e equilibrada (PEREIRA, 2020).

Os secadores intermitentes são constituídos de uma coluna de grãos em movimento atravessada por um fluxo de ar quente em um espaço denominado câmara de secagem, onde ocorrem as trocas de massa e energia. Cai até a base da coluna onde é coletado e elevado mecanicamente para o topo do secador, passando para a câmara de equalização. O volume da câmara de equalização determina o tempo de repouso (ou de equalização) que os grãos levam até serem liberados para a câmara de secagem novamente. O ciclo consiste em um período de secagem e um período de equalização que é repetido até a massa de grãos atingir a umidade desejada (ZIEGLER; PARAGINSKI; FERREIRA, 2023), sendo definida como relação de intermitência a relação entre os tempos de secagem e de equalização e o período total de secagem é o somatório dos dois ciclos. Pelas características técnicas, operacionais e econômicas, o sistema intermitente é o mais recomendável para a secagem do arroz, devendo ser evitada a remoção brusca de água, que deve ser harmônica durante todo o processo, com temperatura do ar de secagem de no máximo 110 °C, para controlar os danos térmicos e mecânicos (ELIAS et al., 2021).

Os principais parâmetros operacionais de controle dos secadores são a temperatura do ar de secagem, a vazão do ar de secagem, o tempo de exposição ao ar aquecido e a relação de intermitência. Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos da secagem nos aspectos industriais e na qualidade dos grãos de arroz, obter modelos matemáticos para prever a qualidade industrial dos grãos em função das variáveis de processo, ajustar modelos cinéticos de secagem em função dos dados experimentais.

### **Material e Métodos**

Foram utilizados grãos de arroz da classe longo-fino, cultivados em sistema irrigado na região Sul do Rio Grande do Sul, colhidos com umidade próxima a 21% (base úmida). Os

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Mestrando do CMPCTA, FAEM-UFPEL. E-mail: [liandrorodrigues@hotmail.com](mailto:liandrorodrigues@hotmail.com)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando do CMPCTA, FAEM-UFPEL. E-mail: [Matheusleoslina@outlook.com](mailto:Matheusleoslina@outlook.com)

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Mestrando do CMPCTA-FAEM-UFPEL. E-mail: [neto.acc@hotmail.com](mailto:neto.acc@hotmail.com)

<sup>4</sup> Eng. Agrícola, Dr., Professor do CENG-UFPEL. E-mail: [ricardoscherer.eng@gmail.com](mailto:ricardoscherer.eng@gmail.com)

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Dr. Professor do PPGCTA, FAEM-UFPEL. E-mail: [eliasmc@uol.com.br](mailto:eliasmc@uol.com.br)

experimentos foram executados em escala piloto nas instalações do Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (LABGRÃOS) do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas - UFPEL. Para escala industrial necessitará ajustes de parâmetros operacionais.

Foi aplicado delineamento composto central rotacional (DCCR), em função do número de variáveis independentes (três) envolvidas no estudo, na disponibilidade de matéria prima, e na viabilidade do número de ensaios (Tabelas 1). Para a avaliação da secagem realizou-se o DCCR incluindo seis pontos axiais e dois pontos centrais para geração do erro conforme, totalizando 16 experimentos, com valores reais e codificados. As variáveis estudadas foram temperatura do ar ( $X_1$ ), tempo de exposição do arroz ao ar aquecido ( $X_2$ ) e relação de intermitência ( $X_3$ ). Utilizou-se análise de variância para validação do modelo verificando o coeficiente de determinação  $R^2$  e o teste F de Fisher.

Tabela 1 – Valores reais e codificados das variáveis independentes para o delineamento composto central rotacional – DCCR

Variáveis independentes	Código de símbolo	Valores codificados				
		-1,68	-1	0	1	1,68
Temperatura do ar (°C)	$X_1$	35	40	47,5	55	60
Tempo de exposição ao ar aquecido (min)	$X_2$	5	7	10	13	15
Relação de intermitência	$X_3$	1:0,0	1:1,0	1:2,5	1:4,0	1:5,0

### Resultados e Discussão

Na superfície de resposta da Figura 1, que apresenta o rendimento de inteiros em função da temperatura do ar e da relação de intermitência, o tempo de exposição ao ar aquecido não foi significativo para esta variável resposta.

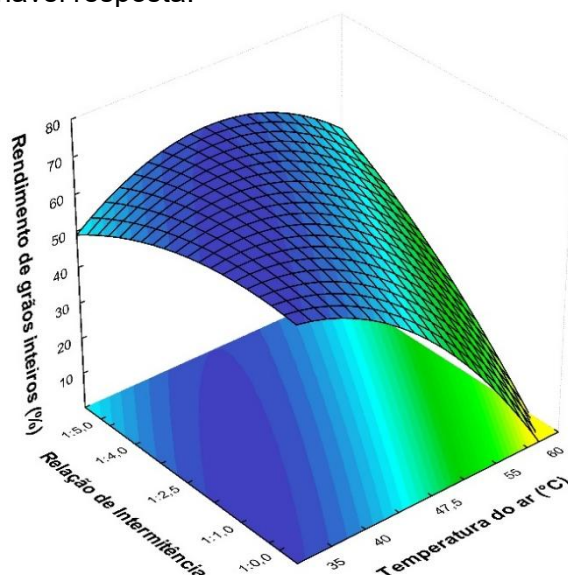


Figura 1. Superfície de resposta do rendimento de inteiros em função da temperatura do ar e da relação de intermitência.

À medida que aumentou a relação de intermitência, a temperatura de secagem pôde ser elevada sem uma diminuição brusca do rendimento de inteiros, até a temperatura de 47,5 °C. Na relação de intermitência 1:5, a temperatura do ar de 47,5 °C manteve-se elevado o rendimento de inteiros, com a temperatura da massa de grãos alcançando 42 °C. A condição de secagem otimizada em função do rendimento de inteiros ocorreu temperatura de até 42 °C na massa de grãos e relação de intermitência de 1:5. A diminuição da temperatura para até 40 °C e a relação

de intermitência para 1:2,5 também apresentaram elevado o rendimento de inteiros. A renda elevada de benefício teve remoção mínima do farelo de 8,8%. Isto decorre da maior integridade física dos grãos secos nesta condição, que conseqüentemente apresentam menos fissuras.

De acordo com Madamba, Driscoll e Buckle (1996), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), não constitui, sozinho, um bom critério para a seleção de modelos não lineares, para isto, os valores do erro médio relativo (EMR) foram considerados na seleção dos modelos. Os valores do erro médio relativo (EMR) indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (KASHANI-NEJAD; MORTAZAVI; SAFEKORDI, 2007) e, segundo Mohapatra e Rao (2005), valores inferiores a 10,0% são recomendados para a seleção de modelos.

Para analisar qual modelo matemático apresentou melhor ajuste foi considerada a maior magnitude do valor do coeficiente de determinação  $R^2$  (ajustado), que deve estar próximo de 1 (um), e da magnitude do valor do erro médio relativo (EMR). Para os dezesseis experimentos realizados, de secagem de arroz em casca, verificou-se que todos os modelos matemáticos se ajustaram aos dados experimentais, apresentaram valores para os coeficientes de determinação  $R^2$  (ajustado) superiores a 0,91 e valores do erro médio relativo (EMR) inferiores a 10%. Todos os modelos utilizados neste experimento podem descrever o comportamento cinético desse experimento de secagem, pois constituem uma representação satisfatória do fenômeno em estudo.

O modelo cinético que mais se ajustou na descrição da secagem intermitente de arroz em casca foi o modelo de Midilli, com os maiores valores do coeficiente  $R^2$  (ajustado) e os menores valores do erro médio relativo (EMR) na maioria dos experimentos. O modelo de Page apresentou um ótimo ajuste aos dados experimentais e pode ser aplicado para descrever o comportamento da secagem intermitente de arroz em casca. A Figura 2 apresenta o gráfico da curva de secagem juntamente com os modelos ajustados de Midilli e Page, aplicado aos experimentos 14 e 15, referentes às condições ideais de secagem, otimizadas em função da qualidade final do arroz (rendimento de inteiros e renda de benefício) e das respostas do processo industrial (temperatura máxima da massa dos grãos e tempo de secagem), respectivamente.

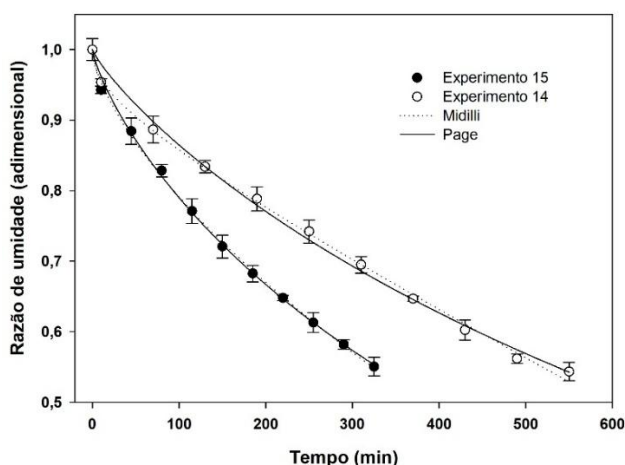


Figura 2. Valores reais e estimados da razão de umidade pela estimativa dos parâmetros dos modelos de Midilli e Page dos experimentos 14 e 15 em relação ao tempo.

Observa-se na Figura 2 elevada correlação entre os valores experimentais e os estimados e um comportamento satisfatório da distribuição de resíduos gerados por essas equações, aproximando-se das distribuições normais esperadas. Assim, ambos os modelos representaram de forma adequada o comportamento de secagem intermitente de arroz.

## Conclusões

A condição otimizada pelas superfícies de resposta para correlacionar os aspectos industriais da secagem intermitente com a qualidade dos grãos, dentre as testadas, foi: temperatura

dos grãos de até 40°C e relação de intermitência de 1:2,5, que resultou em um rendimento de inteiros superior a 60%, tempo de secagem próximo de 300 minutos. Com relação de intermitência de 1:5 e temperatura máxima da massa de grãos de 42 °C os rendimentos foram similares. A análise estatística permitiu obter modelos polinomiais empíricos para prever, em função das variáveis de processo, quatro parâmetros da qualidade industrial dos grãos, quais sejam rendimento de inteiros, renda de benefício, temperatura máxima da massa de grãos e o tempo de secagem. Dentre os modelos cinéticos testados para secagem dos grãos de arroz, verificou-se que o modelo cinético de Midilli apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, no entanto. No entanto, o modelo semi-empírico de Page apresentou um ajuste adequado com um menor número de parâmetros, sendo também indicado para descrever a secagem intermitente com elevada precisão.

### **Agradecimentos**

Agradecimentos ao CNPQ, à CAPES e à FAPERGS pelas bolsas de pesquisa e pelo apoio financeiro e à equipe do LABGRÃOS que auxiliou na condução do trabalho.

### **Referências**

CORADI, P. C.; NUNES, M.T.; DUTRA, A. P.; SOUZA, G. A. C.; CARNEIRO, L. O.; STEINHAUS, J. I. Avaliação do sistema operacional de uma unidade armazenadora de silos de secagem e da qualidade de grãos de arroz. **Pesq., Soc. e Desenvolvimento**, v. 9, n. 9, p. e235997073, 2020.

ELIAS, M. C. Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos. 1. ed. Pelotas: **Editora Santa Cruz**, 2008. v. 1. 368p

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; VANIER, N. L.; GULARTE, M. A.; MONKS, J. L. F. ;POHNDORF, R. S.; AMATO, G. W. Protocolo tecnológico-operacional para armazenamento e qualidade de arroz para indústria. In: Paulo Cláudio Machado Júnior; Stelito Assis dos Reis Neto. (Org.). Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas. 1ed.Brasília: **Companhia Nacional de Abastecimento - Conab**, 2021, v. 1, p. 159-178.

GENKAWA, T.; UCHINO, T.; INOUE, A.; TANAKA, F.; HAMANAKA, D. Development of a low-moisture-content storage system for brown rice: Storability at decreased moisture contents. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 515-522, 2008.

KASHANI-NEJAD, M.A.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI A.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p. 98-108, 2007

MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p.75-97, 1996.

PEREIRA, J. C. A. Descrição da secagem contínua e intermitente de arroz em casca usando modelos de difusão. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. **Universidade Federal de Campina Grande**. 122 p. 2020.

VANIER, N.L.; LINDEMANN, I. S.; POHNDORF, R.S.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C. Classificação oficial, pós-colheita e industrialização de arroz. **Editora Santa Cruz**, v. 1. 420p. 2017.

ZIEGLER, V.; PARAGINSKI, R.; FERREIRA, C. D. Effects of drying conditions on grain quality: A review. **Concillium (English Language Edition)**, v. 23, p. 1-20, 2023.