

MODELOS DE ENCHARCAMENTO PARA PARBOILIZAÇÃO DE ARROZ

RAFAEL SCHMECHEL SELL¹; TAIANE CAROLINE CÂNDIDO²; ÁDAMO DE SOUSA ARAÚJO³; RICARDO SCHERER POHNDORF⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – rafael.sell@outlook.com

²Universidade Federal de Pelotas – taianeccandido@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – adamo.araujo@ufpel.edu.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – ricardoscherer.eng@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza Sativa* L.) corresponde a mais de 33% da produção mundial de cereais, e é consumido pelas populações em todos os continentes. Fora do continente asiático, o Brasil é o país que apresenta a maior produção deste cereal, sendo mais de 70% da produção nacional realizada no estado do Rio Grande do Sul (CONAB, 2024).

O método de parboilização tem sido empregado como uma estratégia para reduzir a quebra dos grãos durante o processo de beneficiamento e para preservar os nutrientes essenciais. Esse procedimento envolve fundamentalmente três etapas distintas: encharcamento, autoclavagem e secagem. Durante o encharcamento do arroz com casca na água, ocorre a penetração da água nos grãos, carregando consigo compostos solúveis em água e criando um ambiente propício para a gelatinização do amido. A temperatura de encharcamento do arroz pode variar dependendo da variedade de arroz, bem como o tempo necessário para atingir valores de umidade elevados, em torno de 30-33%, para que ocorra a gelatinização do amido. Entretanto, condições inadequadas de processo podem promover a perda de qualidade e aumento de defeitos no arroz parboilizado, sendo assim importante o estudo das melhores condições de processo para melhoria da qualidade dos grãos e minimizar perdas de energia (LUZ et al., 2023).

Este estudo objetivou a realização de curvas de encharcamento de arroz em diferentes temperaturas e analisar o ajuste de modelos matemáticos para descrever esta etapa do processo.

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas amostras de arroz cultivadas na região sul do estado do Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado nas instalações do Laboratório de Engenharia de Pós-Colheita, localizado no Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas.

Para a realização da encharcamento, 100 g de arroz em casca foram colocados em um bquer de 250 mL com uma proporção de arroz e água de 1:1,6. O arroz foi submetido ao encharcamento por 360 min em um banho termostatzado com temperaturas controladas de 58, 64 e 70°C, em três repetições. Amostras de arroz foram coletadas a cada hora. As amostras foram colocadas em papel toalha por 5 min para a remoção do excesso de água e posteriormente a massa de amostra de arroz coletada foi pesada em balança analítica e encaminhada para a estufa à 105°C por 24h, para determinação do grau de umidade (BRASIL, 2009).

Após a obtenção dos valores de umidade dos grãos de arroz em função do tempo de hidratação, foram construídas as curvas de encharcamento e com base

nos dados experimentais foram testados alguns modelos matemáticos, conforme descritos por Ghafoor et al. (2014) e Oli et al. (2014).

Uma equação empírica não exponencial proposta para modelar a absorção e dessorção de água por materiais alimentares (que se aproximam assintoticamente do equilíbrio) é a equação de Peleg, dada pela Eq. (1):

$$M_t = M_0 + \left[\frac{t}{k_1 + k_1 t} \right] \quad (1)$$

sendo k_1 (h g g^{-1}) a constante de taxa de Peleg relacionada com a taxa de sorção no início do encharcamento, enquanto a constante de capacidade k_2 (g g^{-1}) se relaciona com o teor de umidade máximo (ou mínimo) atingível. Os parâmetros M_t e M_0 (g g^{-1}) são os valores de umidade dos grãos ao longo o tempo t (h) e no início do processo, respectivamente.

A Equação de Weibull (Eq. 2) é descrita por dois parâmetros: o parâmetro de escala, α , é o recíproco da constante de taxa de processo, e o parâmetro β descrito com um parâmetro de forma.

$$\frac{M_0 - M_t}{M_0 - M_e} = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (2)$$

Sendo parâmetro relacionado com a taxa de escala que define a taxa e diferentes valores de α levam a curvas muito diferentes; por exemplo, quanto maior seu valor, mais lento o processo em tempos curtos.

A distribuição Weibull é descrita por dois parâmetros: o parâmetro de escala α , que está relacionado ao recíproco da constante de taxa do processo, e o parâmetro de forma, β . O parâmetro de escala define a taxa e representa o tempo necessário para realizar aproximadamente 63% do processo. Diferentes valores de β levam a curvas muito diferentes e portanto podem descrever vários mecanismos (por exemplo, difusão, convecção, relaxamento). Quando $\beta = 1$, a distribuição Weibull se reduz à equação cinética de primeira ordem, também conhecido como modelo de Henderson and Pabis (Eq. 3).

$$\frac{M_0 - M_t}{M_0 - M_e} = 1 - A \exp (-kt) \quad (3)$$

sendo k o valor da constante da taxa de hidratação (h^{-1}) e A o parâmetro pré-exponencial de ajuste.

Uma equação do tipo Arrhenius (Eq. 4) foi usada para descrever a influência da temperatura na constante da taxa k , onde E_a é a energia de ativação para o processo de hidratação (kJ mol^{-1}); R é a constante universal dos gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); e T é a temperatura de hidratação (K).

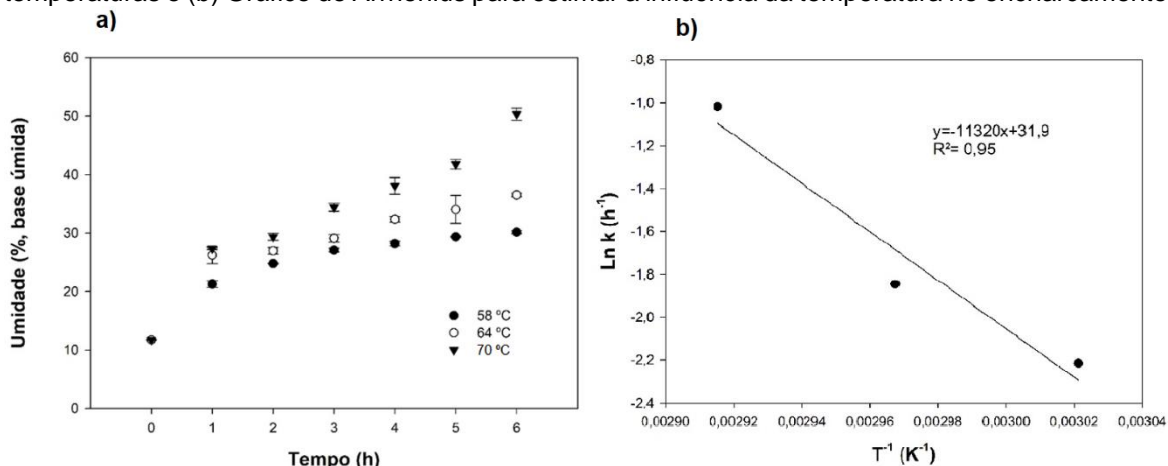
$$k = k_0 \exp \left(- \frac{E_a}{RT} \right) \quad (4)$$

A análise do ajuste dos modelos foi realizada pelo programa *Statística 7.0*, usando o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajustado}) e erro médio relativo (%) para comparação entre os modelos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 pode ser observado as curvas de encharcamento do arroz nas temperaturas de 58, 64 e 70°C.

Figura 1. (a) Curvas de encharcamento de arroz no processo de parboilização em diferentes temperaturas e (b) Gráfico de Arrhenius para estimar a influência da temperatura no encharcamento.



Como pode ser notado, com o aumento da temperatura da água de encharcamento, houve um aumento na umidade máxima que os grãos de arroz atingiram. Para as temperaturas de 58 °C e 64 °C houve uma tendência de estabilização da umidade a partir de 4 h de processo. A temperatura de 58 °C não foi suficiente para os grãos alcançarem 30% de umidade, embora tenha ficado próximo deste valor. Abaixo de 30% de umidade pode ocorrer uma maior dificuldade de gelatinização do amido e consequentemente uma parboilização inadequada dos grãos de arroz. Na temperatura de 64 °C os grãos alcançaram a umidade próxima de 33% na quinta hora de encharcamento, sendo esta condição adequada para o encharcamento do arroz. Já o processo realizado com 70 °C, houve uma tendência crescente da umidade até a sexta hora, alcançando valores próximos a 50% de umidade. Nestas condições, pode ocorrer a abertura da casca e aumento de defeitos nos grãos parboilizados ao final do processo.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de ajuste dos modelos de encharcamento do arroz. O modelo de Peleg apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, entre os modelos testados, evidenciado pelo elevado valor do coeficiente de determinação (R^2) e baixo erro médio relativo. Os valores da constante da taxa $K1$ foram diminuindo à medida que a temperatura aumentou, evidenciando a maior rapidez no processo de hidratação. O modelo de Weibull também apresentou um forte ajuste aos dados experimentais, exibindo valores de α que diminuíram com o aumento da temperatura, o que evidencia o efeito positivo que a temperatura exerce sobre a taxa de absorção de água. O modelo de primeira ordem apresentou os menores valores de R^2 e EMR, porém, ainda assim os valores são aceitáveis para descrever o processo. A partir dos valores da constante k do modelo, foi estimado pelo gráfico de Arrhenius a energia de ativação do processo, que foi de 94,1 kJ/mol. Os valores estimados neste estudo estão coerentes com os valores de literatura (GHAFOOR et al., 2014).

Tabela 1. Parâmetros de ajuste dos modelos de encharcamento de arroz.

Parâmetros dos modelos	Temperaturas de encharcamento (°C)		
	58°C	64°C	70°C
<i>Modelo de Peleg</i>			
k ₁	5,61	3,88	3,163
k ₂	4,59	3,853	3,250
R ²	0,9951	0,9568	0,9809
R ² ajustado	0,9943	0,9496	0,9777
EMR (%)	1,29	4,17	2,99
<i>Modelo de Weibull</i>			
α	15,290	7,570	2,970
β	0,460	0,468	0,765
R ²	0,9957	0,98300	0,94520
R ² ajustado	0,9955	0,9822	0,9427
EMR (%)	2,28	3,65	6,80
<i>Modelo de Primeira Ordem</i>			
k ₃ (h ⁻¹)	0,109	0,158	0,362
A	0,894	0,862	0,921
R ²	0,8748	0,87040	0,92590
R ² ajustado	0,8539	0,8488	0,9136
EMR (%)	10,21	9,04	6,80

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foram obtidas as curvas de encharcamento de arroz para o processo de parboilização em diferentes temperaturas. Foi encontrado que a temperatura de 64 °C e o tempo de encharcamento de 5 h resultaram em uma umidade dos grãos de arroz de 33%, considerado adequado ao processo. Por meio do ajuste dos modelos de hidratação verificou-se que o modelo de Peleg foi fortemente adequado para descrever o processo, seguido pelo modelo de Weibull.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas de produtividade de grãos. Disponível em: <www.conab.org.br>. Acesso em: 10 set 2024.
- GHAFOOR M.; MISRA N. N.; MAHADEVAN K.; TIWARI, B. K. Ultrasound assisted hydration of navy beans (*Phaseolus vulgaris*). **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21, p. 409–414, 2014.
- LUZ, M. L. G. S.; LUZ, C. A.; ARAÚJO, A. S. **Processamento de Arroz Branco e Parboilizado**. São Paulo. Ed. Blucher. 184 p. 2023.
- OLI, P.; WARD R.; ADHIKARI B.; TORLEY, P. Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. **Journal of Food Engineering**, v. 124, p. 173–183, 2014.