

AVALIAÇÃO DO GRAU DE MATURAÇÃO E DO PRÉ-TRATAMENTO COM ETANOL NA SECAGEM DE FATIAS DE BANANA NANICA

Isabelly L. da T. m. GOMES¹; Beatriz F. LEAL²; Eduarda do C. ANDRADE³; Iasmim E. BORGES⁴; Isadora P. da SILVA⁵; Lariane A. MARIANO⁶; Lucas N. NISHIMORI⁷; Rodrigo de J. WAZ⁸; Samara L. F. da SILVA⁹; Yasmin V. C. PIZA¹⁰; Kamilla S. de MENDONÇA¹¹.

RESUMO

Este trabalho apresenta a influência do estágio de maturação e do pré-tratamento com etanol 70% na secagem de bananas nanicas. Frutos verdes e maduros foram cortados em fatias padronizadas, submetidos à secagem em estufa a 70° C até massa constante e aplicados a diferentes modelos matemáticos. O tratamento com etanol acelerou a perda de umidade, principalmente em bananas maduras, enquanto as verdes apresentaram maior resistência à desidratação. Os modelos Two Terms e Handerson Modificado apresentaram os melhores ajustes, indicando que o pré-tratamento e a maturação são fatores-chave para otimizar a cinética de secagem.

Palavras-chave: Álcool; Desidratação; Maturação; Pré-tratamento.

1. INTRODUÇÃO

A secagem é uma técnica amplamente utilizada para a conservação de frutas, pois reduz a atividade de água (A_w), inibe o crescimento microbiano e prolonga a vida útil dos produtos (Abd El-Wahhab et al., 2023). Além disso, facilita o armazenamento, o transporte e amplia as possibilidades de aplicação industrial das frutas desidratadas. No entanto, o processo pode provocar alterações indesejáveis, como encolhimento, perda de cor e alterações de textura, tornando necessária estratégias para otimizar a qualidade do produto final (Majerska et al., 2021).

No caso da banana nanica, o estágio de maturação influencia diretamente a desidratação: frutos verdes apresentam maior resistência à perda de água devido à firmeza do tecido, enquanto frutos maduros, mais macias, tendem a desidratar mais rapidamente. Assim, compreender o efeito da maturação é essencial para ajustar as condições de secagem e garantir produtos com características desejáveis (Silva, 2022).

Entre os pré-tratamentos investigados, soluções hidroalcoólicas, especialmente com etanol 50–70%, têm se destacado por reduzir o escurecimento enzimático, inibindo a atividade da polifenoloxidase (PPO) e preservando a textura do produto, além de favorecer a difusão de água e acelerar o processo de secagem (Zhang et al., 2022).

A modelagem matemática da cinética de secagem é outro recurso importante, pois permite descrever quantitativamente a perda de umidade ao longo do tempo, identificar o modelo que melhor representa o processo e auxiliar na otimização de parâmetros para aplicação em escala

¹Bolsista PIBIC/CNPq, IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. E-mail: endereco.eletronico@gmail.com.

²Discente do Técnico em Agropecuária Integrado, IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes. E-mail: endereco.eletronico2@ifsuldeminas.edu.br.

industrial (Kumar et al., 2020).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do estágio de maturação e do pré-tratamento com etanol 70% na cinética de secagem de fatias de banana nanica, por meio de experimentos controlados e ajuste a diferentes modelos matemáticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Solos do Instituto Federal Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, no mês de maio de 2025. As bananas nanicas foram adquiridas em mercados da região sul de Minas Gerais, em dois estágios de maturação: verde (estágio II) e madura com coloração amarela (estágio V), definidos conforme classificação do United States Department of Agriculture (USDA, 2001). Para padronizar o diâmetro das fatias, utilizou-se um molde de referência com 2 cm de diâmetro, e o corte das bananas foi realizado em um mandolim (Hercules - UTP95) ajustado para espessura de 1 mm. A confirmação do diâmetro das rodela foi feita utilizando um paquímetro digital (B-MAX de 150 mm / 0–6 IC $\pm 0,2$ mm).

No total foram quatro tratamentos com 3 repetições: F1- Banana verde em estágio II, F2- Banana madura em estágio V, F3- Banana verde em estágio II por imersão em álcool 70° durante 5 minutos e F4- Banana madura em estágio V por imersão em álcool 70° durante 5 minutos.

Os ensaios de secagem foram realizados em triplicatas, sendo três fatias de banana em cada placa de petri, utilizando o secador de circulação de ar com temperatura de secagem a 70°C e velocidade de 1 m/s. Para a realização das pesagens, foi utilizado a balança analítica (BEL Engineering, M503iH) com precisão de 0,0001 g, em intervalos de uma hora até chegar ao peso constante da massa.

A determinação de umidade das amostras foi calculada com os dados experimentais, conforme a equação 1, de acordo com as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz em estufa a 105° C.

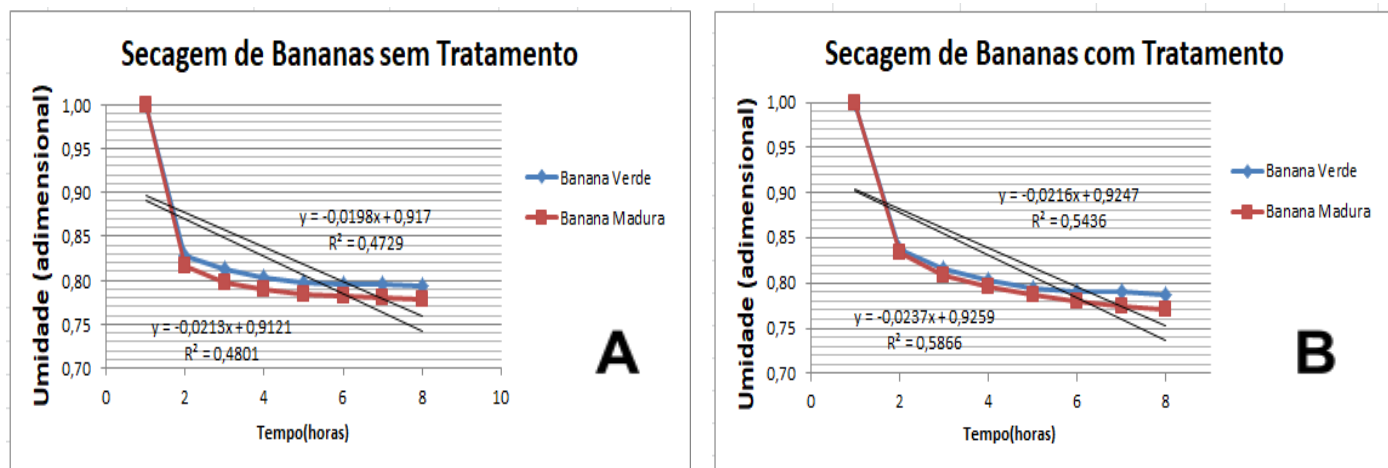
$$RX = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} \quad \text{Equação 1}$$

No qual: RX: razão de água, adimensional; X: teor de água, base seca (%); Xe: teor de água de equilíbrio, base seca (%); Xo: teor de água inicial, base seca (%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a influência do estágio de maturação e do pré-tratamento com etanol 70% sobre a cinética de secagem, foram elaborados gráficos relacionando a variação da umidade adimensional em função do tempo de processo. A Figura 1 apresenta o comportamento das amostras de banana verde e madura, comparando a secagem sem tratamento (Imagem A) e com imersão em etanol 70% (Imagem B).

Figura 1 - Taxa de secagem em função da variação de umidade de bananas sem tratamento (Imagem A) e bananas com tratamento de imersão em álcool 70° (Imagem B).



Fonte: Autoral, 2025.

As curvas de secagem evidenciaram que a perda de umidade em relação ao tempo em F4 foi constante e apresentou umidade final inferior à F2 no mesmo período de tempo, sendo o tratamento relevante para a secagem da banana madura. Já a umidade final em F3 > F1, ou seja, o tratamento pode ter influenciado negativamente o resultado em F3.

Tabela 1- Modelos matemáticos ajustados para a secagem de bananas verdes e maduras sem tratamento e com imersão em álcool 70°.

| modelo | variedade | k | n | a | b | c | k1 | R ² | RMQE | X ² |
|-----------------------|-----------|---------|---|----------|----------|-----------|--------|----------------|----------|----------------|
| Handerson Pabis | BV S/TRAT | 0,0004 | | 0,9020 | | | | 0,4931 | 4,70E-02 | 2,97E-03 |
| | BM S/TRAT | 0,0006 | | 0,8855 | | | | 0,5321 | 5,55E-02 | 4,26E-03 |
| | BV ALC | 0,0005 | | 0,9082 | | | | 0,5663 | 4,42E-02 | 2,64E-03 |
| | BM ALC | 0,0005 | | 0,9081 | | | | 0,6119 | 4,44E-02 | 2,67E-03 |
| Logarítmico | BV S/TRAT | 0,0302 | | 0,2019 | | 0,7978 | | 0,9961 | 4,06E-03 | 2,66E-05 |
| | BM S/TRAT | 0,0000 | | -59,4419 | | 60,3195 | | 0,5043 | 5,72E-02 | 5,42E-03 |
| | BV ALC | 0,0087 | | -71,4557 | | 72,3948 | | 0,7056 | 3,00E-02 | 1,95E-03 |
| | BM ALC | -0,0001 | | -89,8751 | | 90,7764 | | 0,7013 | 4,58E-02 | 3,41E-03 |
| Two terms | BV S/TRAT | 0,0254 | | 0,3900 | 0,6098 | | 0,0124 | 0,9990 | 2,06E-03 | 8,56E-06 |
| | BM S/TRAT | 0,0133 | | 0,6260 | 0,3739 | | 0,0222 | 0,9984 | 2,78E-03 | 1,72E-05 |
| | BV ALC | 0,0112 | | 0,5800 | 0,4140 | | 0,0136 | 0,9790 | 7,32E-03 | 1,99E-04 |
| | BM ALC | 0,0231 | | 0,4122 | 0,5878 | | 0,0107 | 0,9996 | 1,53E-03 | 4,78E-06 |
| Handerson modificado | BV S/TRAT | 0,2112 | | 0,2944 | 0,3399 | 0,3656 | | 0,9995 | 1,43E-03 | 8,56E-06 |
| | BM S/TRAT | 0,0110 | | 0,3279 | 0,1978 | 0,4740 | | 0,9978 | 3,62E-03 | 5,26E-05 |
| | BV ALC | 0,0007 | | 1,2915 | -0,5609 | 0,2689 | | 0,9759 | 3,66E-03 | 1,03E-04 |
| | BM ALC | -0,0015 | | 0,5133 | 0,6580 | -0,1742 | | 0,9900 | 4,13E-03 | 1,40E-04 |
| Two terms exponential | BV S/TRAT | 0,0120 | | 0,0522 | | | | 0,2180 | 5,83E-02 | 4,58E-03 |
| | BM S/TRAT | 0,0125 | | 0,0645 | | | | 0,3119 | 6,73E-02 | 6,24E-03 |
| | BV ALC | 0,0120 | | 0,0531 | | | | 0,4401 | 5,38E-02 | 3,91E-03 |
| | BM ALC | 0,0121 | | 0,0559 | | | | 0,5177 | 5,33E-02 | 3,84E-03 |
| Wang-Singh | BV S/TRAT | | | -0,0017 | 0,000003 | | | 0,7012 | 3,61E-02 | 1,76E-03 |
| | BM S/TRAT | | | -0,0020 | 0,000004 | | | 0,7288 | 4,25E-02 | 2,52E-03 |
| | BV ALC | | | -0,0016 | 0,000003 | | | 0,7637 | 5,38E-02 | 1,44E-03 |
| | BM ALC | | | -0,0017 | 0,000003 | | | 0,7788 | 5,33E-02 | 1,53E-03 |
| Verma | BV S/TRAT | 0,0256 | | 0,3899 | | | | 0,9990 | 2,07E-03 | 6,87E-06 |
| | BM S/TRAT | 1,9121 | | 0,0256 | | | | 0,9936 | 5,12E-03 | 5,27E-05 |
| | BV ALC | 0,0330 | | 0,1815 | | | | 0,9984 | 2,64E-03 | 1,11E-05 |
| | BM ALC | 0,0885 | | 0,3895 | | | | 0,9971 | 2,93E-03 | 1,90E-05 |
| Parabolic | BV S/TRAT | | | 0,9537 | -0,0013 | 0,000002 | | 0,7881 | 3,04E-02 | 1,50E-03 |
| | BM S/TRAT | | | 0,9455 | -0,0015 | 0,000003 | | 0,8075 | 3,58E-02 | 2,15E-03 |
| | BV ALC | | | 0,9581 | -0,0013 | -0,001310 | | 0,8324 | 1,79E-02 | 1,23E-03 |
| | BM ALC | | | 0,9570 | -0,0013 | 0,000002 | | 0,8430 | 1,79E-02 | 1,30E-03 |

Fonte: Autoral, 2025.

Os modelos Two Terms e Handerson Modificado apresentaram os melhores ajustes para a secagem, principalmente da banana verde, com $R^2 > 0,998$ e $RMQE < 2,8 \times 10^{-3}$. Para a banana madura, o modelo Logarítmico destacou-se, com $R^2 = 0,9961$ e $\chi^2 = 2,66 \times 10^{-5}$, evidenciando alta precisão. Por outro lado, os modelos Handerson Pabis e Two Terms Exponential tiveram os piores desempenhos ($R^2 < 0,55$ e χ^2 elevado), mostrando-se inadequados para descrever o processo de secagem.

Com os modelos Two Terms e Handerson Modificado apresentaram o melhor desempenho para a descrição da cinética de secagem das bananas tratadas com álcool 70°, com R^2 superiores a 0,97 e os menores valores de RMQE e χ^2 , especialmente para a variedade verde (BV). O modelo Verma também se destacou, principalmente para BM ALC, com $R^2 = 0,9971$ e $\chi^2 = 1,19 \times 10^{-5}$, indicando excelente ajuste. Por outro lado, modelos como Logarítmico e Wang-Singh mostraram desempenho inferior, com R^2 abaixo de 0,78 e maior dispersão nos erros, sendo menos adequados para representar o processo.

4. CONCLUSÃO

A secagem das bananas verdes e maduras, com e sem pré-tratamento em álcool 70°, mostrou-se eficiente, sendo influenciada pelo estágio de maturação e pela aplicação do tratamento. A amostra F4 apresentou a maior taxa de secagem, enquanto as bananas verdes (estágio II) demonstraram maior resistência à perda de umidade. Os resultados evidenciam a importância do estágio de maturação, do pré-tratamento e confirmam que os modelos Two Terms, Handerson Modificado e Verma foram os mais adequados para descrever a cinética de secagem.

REFERÊNCIAS

ABD EL-WAHAB, G. G. et al. **Effect of pre-treatments on the qualities of banana dried by two different drying methods**. Sustainability, Basel, v. 15, n. 20, p. 15112, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/374867930_Effect_of_Pre-Treatments_on_the_Qualities_of_Banana_Dried_by_Two_Different_Drying_Methods. Acesso em: 20 Jul. 2025

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto: Adolfo Lutz, 2004.

MAJERSKA, J. et al. **A review of new directions in managing fruit processing by-products**. Trends in Food Science & Technology, v. 108, p. 257-273, 2021.

SILVA, Karla Viviane da. **Elaboração de queijo petit suisse funcional com adição de polpa de açaí e biomassa de banana verde**. 2022. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/53304>. Acesso em: 27 jul. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Banana ripening guide**. Washington, D.C.: Agricultural Marketing Service, 2001.

Zhang, Y. et al. (2021). **Ethanol vapor inhibits browning and maintains quality of fresh-cut apples**. Postharvest Biology and Technology, 176, 111502.