

**MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE CASCA DE BANANA (*Musa spp.*)**

**Larissa Monique de Sousa Rodrigues<sup>1</sup>**  
**Agdylannah Felix Vieira<sup>2</sup>**  
**Jamilly Salustiano Ferreira Constantino<sup>3</sup>**  
**Renata Duarte Almeida<sup>4</sup>**  
**Amanda Priscila Silva Nascimento<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFCG, Campina Grande – Paraíba, Brasil, larissamonique@gmail.com

<sup>2</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande – PB, Brasil, agdylana@hotmail.com

<sup>3</sup>Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFCG, Campina Grande – Paraíba, Brasil, jamillysalustiano@gmail.com

<sup>4</sup>Doutora e Engenheira Agrícola, UFCG, Campina Grande – Paraíba, Brasil, renatadual@hotmail.com

<sup>5</sup>Mestranda em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande – PB, Brasil, amandapriscil@yahoo.com.br

**Introdução**

A banana é uma fruta típica das regiões tropicais e caracteriza-se por ser um alimento de alta perecibilidade, a casca é considerado um resíduo do fruto que usualmente não é aproveitada. Além de gerar problemas ambientais, os resíduos constituem perda de matérias-primas e energia, requerem investimentos expressivos em tratamentos para controlar a poluição (PELIZER et al., 2007).

Para Laufenberg et al. (2003), os resíduos podem conter muitas substâncias de alto valor nutritivo conter, ainda, componentes advindos das suas frutas de origem, além de possuir alto valor de fibras; se for empregada uma tecnologia adequada, este material pode ser convertido em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários.

A secagem é atualmente empregada não apenas com o objetivo de conservação dos alimentos, mas também para elaboração de produtos diferenciados. A remoção parcial ou total de água promove a redução da massa e volume de produtos desidratados, implicando na inibição do crescimento microbiano e na prevenção de reações bioquímicas responsáveis pela deterioração do alimento, além de representar grandes vantagens quanto aos aspectos econômico e logístico, reduzindo os custos com embalagens, armazenamento e transporte (ALMEIDA et al., 2006; PONTES et al., 2007).

Diante do que foi exposto, o trabalho foi realizado com o objetivo de secar as cascas de bananas (*Musa spp.*), nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.

**Material e Métodos**

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

Os resíduos utilizados neste estudo foram as cascas de banana (*Musa spp.*), resultante de um projeto de pesquisa com a polpa deste fruto. As cascas previamente lavadas e sanitizadas pertenciam a frutos de um mesmo estágio de maturação, livres de danos físicos e defeitos fisiológicos, em seguida, foram cortadas e dispostas sobre bandejas perfuradas de aço inoxidável, sendo essas levadas ao secador de circulação forçada, nas temperaturas 40, 50 e 60°C. Durante a secagem se fez o acompanhamento da perda de massa e no final das secagens foram determinadas as massas secas e calculados os teores de água de acordo com IAL (2008).

Os modelos de Cavalcanti Mata (Equação 1), Page (Equação 2) e Henderson e Pabis (Equação 3), foram ajustados aos dados experimentais da secagem da casca de banana.

$$RX = a_1 \text{Exp}(-a_2 t a_3) + a_4 \text{Exp}(-b t a_5) + a_6 \quad (1)$$

$$RX = \text{Exp}(-k t n) \quad (2)$$

$$RX = a \text{Exp}(-k t) \quad (3)$$

Em que: RX - razão de teor de água; t - tempo (min), k - constante de secagem ( $s^{-1}$ ) e a1, a2, a3, a4, a5, a6 e n - coeficientes do modelo.

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 8. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio quadrático médio (DQM), conforme descrito na equação 4.

$$DQM = \sqrt{\sum \frac{(RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{n}} \quad (4)$$

Em que: DQM- Desvio quadrático médio; RX\_exp- Razão de teor de água experimental; RX\_pred - Razão de teor de água predito pelo modelo; n - Número de dados observados.

### Resultados e Discussão

Observa-se, na Figura 1, as curvas de secagem da casca de banana, aplicadas aos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Henderson e Pabis nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, respectivamente. A cinética de secagem foi fortemente influenciada pela temperatura, e o aumento reduziu significativamente o tempo de secagem, ou seja, em temperaturas superiores, há uma queda bastante acentuada no teor de água, um indicativo do aumento da força motriz de transferência de massa em temperaturas mais elevadas. O mesmo comportamento foi encontrado por outros pesquisadores que consideram a temperatura do ar de secagem como o parâmetro que exerce maior influência na cinética de secagem de alimentos, dentre eles, André et al. (2014) e Leite et al. (2015) que trabalharam com secagem do resíduo de manga Tommy Atkinse banana da terra, respectivamente.

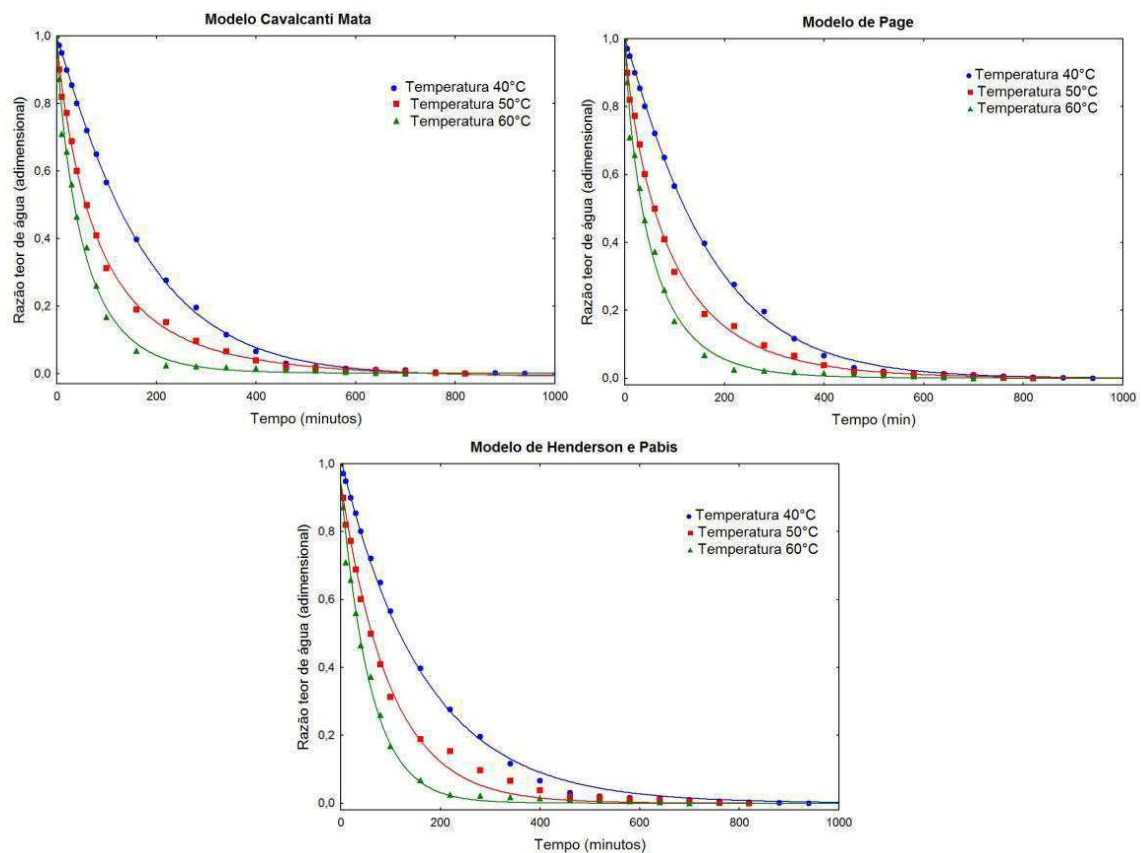


Figura 1. Gráficos da cinética de secagem da casca de banana, nas temperaturas de 40,50, 60°C.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das curvas de secagem da casca de banana nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Tabela 1. Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) do modelo de Cavalcanti Mata ajustados às curvas de secagem

Modelo	T (°C)	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	R <sup>2</sup> (%)	DQM
Cavalcanti Mata	40	0,499	0,004	1,087	0,500	1,087	-0,006	99,96	0,008
	50	0,510	0,020	0,938	0,487	0,792	-0,011	99,85	0,013
	60	0,491	0,035	0,835	0,492	0,835	0,001	99,60	0,021

Tabela 2. Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) do modelo de Page ajustados às curvas de secagem

Modelo	T (°C)	K	n	R <sup>2</sup> (%)	DQM
Page	40	0,004	1,083	99,95	0,009
	50	0,026	0,811	99,83	0,014
	60	0,039	0,809	99,59	0,021

Tabela 3. Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) do modelo de Henderson e Pabis ajustados às curvas de secagem

Modelo	T (°C)	K	a	R <sup>2</sup> (%)	DQM
Henderson ePabis	40	0,006	1,015	99,87	0,014
	50	0,010	0,944	99,46	0,025
	60	0,017	0,938	99,34	0,026

Nas tabelas apresentadas é possível verificar que todos os modelos analisados se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, com valores: coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 99,34% e valores abaixo de 0,026 dos desvios padrão.

A temperatura tem efeito significativo sobre os parâmetros k e n da equação de Page, o parâmetro k, que representa a constante da taxa de secagem, aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem e o n diminuiu.

Dentre eles, o modelo de Cavalcanti Mata foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais em todas as temperaturas estudadas, por apresentar os menores desvios padrão e maiores coeficientes de determinação. Resultados semelhantes foram observados por Marques et al. (2007), em que, o modelo de Cavalcanti Mata forneceu um valor médio para o coeficiente de determinação de 99,94% na secagem de pseudofruto de caju e por Ugulino (2007) durante a elaboração de passa da polpa de jaca a três diferentes temperaturas (45, 60 e 75°C).

De acordo com Zanoelo et al. (2007) qualquer modelo de secagem com valores de ( $R^2$ ) menores que 0,90 poderia ser considerado aceitável, em termos de engenharia, para a descrição do processo, porém, o mais comum é a obtenção de coeficientes de determinação maiores que 0,99 para os melhores modelos de secagem (GUNHAN et al., 2005; SACILIK & UNAL, 2005; DOYMAZ et al., 2006).

## Conclusão

Com base nos resultados obtidos conclui-se que o aumento da temperatura exerce efeito importante na cinética de secagem, em que, a temperatura utilizada no processo é inversamente proporcional ao tempo gasto para que os mesmos atinxissem o teor de água de equilíbrio e dentre os modelos testados, todos se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, apresentando valores de coeficiente de determinação maiores que 99,34% e desvios padrão abaixo de 0,026.

## Referências

ALMEIDA, C. A.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. Revista de Biologia e Ciências da Terra. v.6, n.1. 2006.

- ANDRÉ A. M. M. C. N.; CASTRO, D. S.; ALMEIDA, R. D.; MOREIRA, I. S. Análise e comparação dos modelos matemáticos da secagem do resíduo de manga Tommy Atkins. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.5, p.01-06. 2014.
- DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dilland parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, v.77, n.3, p.559-65. 2006.
- GUNHAN, T. Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, v.46, n.11-12, p.1667-79. 2005.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4.ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz, v.1. p.1020. 2008.
- LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (a) the upgrading concept; (b) practical implementations. *Bioresource Technology*, v.87, p.167-198. 2003.
- LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.45, n.2, p.155-162. 2015.
- MARQUES, L. F.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; NUNES, L. S.; COSTA, T. L.; COSTA, P. B. S.; DUARTE, S. T. G. Secagem precedida de desidratação osmótica de pseudofruto de caju: comparação entre modelos matemáticos aplicados. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.9, n.2, p.161-170. 2007.
- PELIZER, L. H.; PONTIRRI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *Journal of Technology Management & Innovation*, v.2, n.1, p.118-127. 2007.
- PONTES, S. F. O.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; RIBEIRO, A. C.; CARNEIRO, J. C. S. Secagem e avaliação sensorial de banana da terra. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.9, n.2, p.143-148. 2007.
- SACILIK, K.; UNAL, G. Dehydration characteristics of Kastamonugarlics lices. *Biosystems Engineering*, v.92, n.2, p.207-15. 2005.
- STATSOFT. STATISTICA for Windows version 8.0. Computer program manual. Tulsa: Statsoft Inc., 2008.
- UGULINO, S. M. P. Técnicas de secagem para elaboração de passa de jaca. 112f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. 2007.
- ZANOELO, E. F.; CELSO, G. M.; KASKANTZIS, G. Drying kinetics of mate leaves in a packed bed dryer. *Biosystems Engineering*, v.96, n.4, p.487-94. 2007.