



PIBIC/CNPq/UFPG-2009

## **AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NA CINÉTICA DE SECAGEM DE FATIAS DE ABACAXI PÉROLA**

**André Luiz Barros Almeida<sup>1</sup>, Hofsky Vieira Alexandre<sup>2</sup>, Josivanda Palmeira Gomes<sup>2</sup>, Flávio Luiz Honorato da Silva<sup>3</sup>, Francisco de Assis Cardoso Almeida<sup>3</sup> & Niédja Marizze Cezar Alves<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

Neste trabalho foi estudada a cinética de secagem de abacaxi cv. Pérola, cortada em fatias, sem talo, com espessura de 0,5 cm em secador de leito fixo, nas temperaturas de 70, 60 e 50 °C, com velocidade do ar de secagem de 1,4 m s<sup>-1</sup>. Os modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis e Lewis foram ajustados aos dados experimentais. Observou-se que os modelos estudados se ajustam bem aos dados experimentais, podendo ser aplicados na predição da secagem de fatias de abacaxi, sendo que o melhor resultado encontrado foi para o modelo matemático de Page.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus*, leito fixo, modelos matemáticos

## **EVALUATION OF MATHEMATICAL MODELS IN THE KINETIC OF DRYING OF SLICES OF PINEAPPLE PÉROLA**

### **ABSTRACT**

In this work it was studied the kinetics of drying of pineapple variety Pearl, cut into slices, without stalk, with a thickness of 0.5 cm in the fixed bed dryer, at temperatures of 70, 60 and 50° C with drying air velocity of 1.4 m s<sup>-1</sup>. The mathematical models for Page, Henderson and Lewis & Pabis were adjusted to the experimental data. It was observed that the studied models fit well to the experimental data and can be applied in predicting the drying of slices of pineapple, and the best result was found for the mathematical model of Page.

**Key-words:** *Ananas comosus*, fixed bed, mathematical models

### **INTRODUÇÃO**

O abacaxi é conhecido pela denominação *Ananas comosus* L. e pertence à família *Bromeliácea*. Suas principais variedades de importância comercial são: Smooth Cayenne, Singapore Spanish, Red Sapanish e Selangor Green. No Brasil destaca-se somente a produção de Smooth Cayenne e a variedade Pérola (COUTO,1981).

O abacaxi, das cultivares Pérola e Smooth Cayene, são bastante consumidos, tanto *in natura* como industrializados, pois apresentam ótima qualidade organoléptica, são boa fonte de vitaminas, açúcares e fibra, além de auxiliar no processo digestivo. No Brasil, mais de 90% do produzido é consumido *in natura*, com perdas de 10-15%, de uma produção de 2,8 milhões toneladas, a qual se tem mantido estável nos últimos anos (AGRIANUAL, 2001).

Fruta muito apreciada, é extensivamente cultivado na maioria dos países tropicais. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, o Brasil é o maior produtor mundial e

<sup>1</sup> Aluno Estagiário do Curso de Engenharia Agrícola, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [andre\\_lba@hotmail.com](mailto:andre_lba@hotmail.com)

<sup>2</sup> Aluna do Curso de Pós-Graduação em Processos, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [hofsky@gmail.com](mailto:hofsky@gmail.com)

<sup>3</sup> Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [josi@deag.ufcg.edu.br](mailto:josi@deag.ufcg.edu.br); [fluizhonorato@yahoo.com.br](mailto:fluizhonorato@yahoo.com.br); [almeida@deag.ufcg.edu.br](mailto:almeida@deag.ufcg.edu.br)

respondeu por 13,4% do total anual no período de 2001 a 2006. No mercado nacional, o abacaxi representa 5,2% da produção de frutíferas. O Estado do Pará, maior produtor de acordo com o último censo, representou 20,8% da produção brasileira de abacaxi. Os municípios paraenses de Floresta do Araguaia e Conceição do Araguaia responderam por 9,5 e 8,5%, respectivamente, da produção nacional da fruta em 2006 (IBGE, 2006).

Por longo o abacaxi tempo tem sido a fruta não cítrica mais popular nos países tropicais e sub-tropicais, principalmente pelo seu atrativo sabor e aroma, além do refrescante balanço açúcar-ácido que possui, o que certamente, determinou sua importância sócio-econômica.

Na maioria dos países tropicais em desenvolvimento, a abundância natural de frutas frescas leva freqüentemente a um excedente de produção. Apenas uma quantidade limitada de produtos destes frutos é comercializada (HENG,1990). O Brasil é um dos três maiores produtores mundiais de frutas, com uma produção que supera os 34 milhões de toneladas. Porém, segundo MARTINS & FARIAS (2002), os prejuízos decorrentes dos desperdícios de frutas e hortaliças, encontram-se ao redor de 30 a 40% da produção.

A secagem é uma das técnicas tradicionais de conservação de alimentos mais utilizadas. Consiste na redução da disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismos e para reações bioquímicas deteriorativas. Apresenta a vantagem de ser simples e permitir a obtenção de produtos com maior vida de prateleira. Além disso, o processo envolve custos e volumes menores de acondicionamento, armazenagem e transporte. Em alguns casos, a desidratação apresenta a vantagem adicional de colocar ao alcance do consumidor uma maior variedade de produtos alimentícios que podem ser disponibilizados fora da safra, como é o caso das frutas secas (PARK et al., 2002).

A água presente no sólido é chamada de umidade; portanto, a secagem é caracterizada pela evaporação da água do material biológico. Existe um grande número de modelos matemáticos disponíveis na literatura para predição das curvas de secagem de alimentos, e a aplicação destas equações torna possível prever o comportamento de diversos fenômenos que ocorrem no processo bem como possibilita a redução do seu custo operacional.

A secagem de gêneros alimentícios sólidos é um caso complexo de transferências de calor e de massa através dos tecidos. Existem diversas teorias de secagem que tentam explicar os mecanismos de migração de umidade no interior de sólidos durante o período de taxa decrescente, como também a utilização de um grande número de modelos matemáticos para estimar as transferências simultâneas de calor e massa envolvidas (PINTO e TOBINAGA, 1996).

Vários modelos foram propostos para prever o comportamento da secagem de produtos agrícolas, por esses se apresentarem como uma importante ferramenta para o profissional da área (SOUZA et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da temperatura na secagem de abacaxi em fatias com uma espessura de 0,5 cm em um secador de leito fixo, com velocidade do ar de secagem de 1,4 m s<sup>-1</sup>, analisando as equações clássicas para a secagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais foram coletados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB. Utilizou-se abacaxi cv Pérola adquirido no comércio local. As amostras foram selecionadas e cortadas em fatias de 0,5 cm de espessura.

Para a secagem do produto foi utilizado um secador de leito fixo (Figura 1) com a velocidade do ar de 1,4 m s<sup>-1</sup>. As temperaturas de secagem foram 50, 60 e 70 °C. As leituras em relação à perda de peso da amostra foram realizadas em intervalos regulares de 10 e 30 min. A perda de peso foi acompanhada até atingir peso constante. Em seguida as amostras foram levadas a estufa a uma temperatura de 105 °C por 24 h para determinação de matéria seca. Os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade (Equação 1):

$$RU = \frac{X - X_e}{X_o - X_e}$$

em que:

RU - razão de umidade adimensional

X - umidade absoluta, base seca, bs

X<sub>e</sub> - umidade de equilíbrio, bs

X<sub>o</sub> - umidade inicial, bs



Figura 1. Secador de leito fixo

Os modelos matemáticos de Lewis, Page e Henderson & Pabis, descritos na Tabela 1, foram ajustados as curvas experimentais de secagem utilizando-se o programa computacional Statistica versão 5.0. Para se determinar o melhor ajuste de cada equação aos dados experimentais foram utilizados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 1. Modelos matemáticos aplicados às curvas de secagem

Modelo	Equação	Referência
Page	$RU = \exp(-Kt^n)$	LEWIS (1921)
Henderson & Pabis	$RU = a * \exp(-Kt)$	DIAMANTE & MUNRO (1993)
Lewis	$RU = \exp(-Kt)$	AKPINAR et al. (2006)

RU – razão de umidade (b.s.); t – tempo (min); a, K, e n – parâmetros dos modelos

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão representadas as cinéticas de secagem do abacaxi em fatia, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, na forma do adimensional de umidade (razão de umidade) em função do tempo. Constata-se que as curvas de secagem foram influenciadas pela temperatura, com a redução gradativa nos tempos sob o efeito da utilização de temperaturas mais elevadas do ar de secagem.

Observa-se que a perda de umidade é mais rápida no início do processo, com tempos aproximados de secagem de 20 h para a temperatura de 50 °C, de 12 h para a temperatura 60 °C e de 20 h para temperatura de 70 °C. Comprova-se então a influência da temperatura no processo de secagem de fatias de abacaxi. GOUVEIA et al. (2002) utilizaram o planejamento experimental na avaliação da cinética de secagem de caju, para a identificação dos efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem e verificaram que a temperatura foi o fator que exerceu maior influência no processo. Este comportamento foi também observado por ALMEIDA et al. (2006) secando acerola.

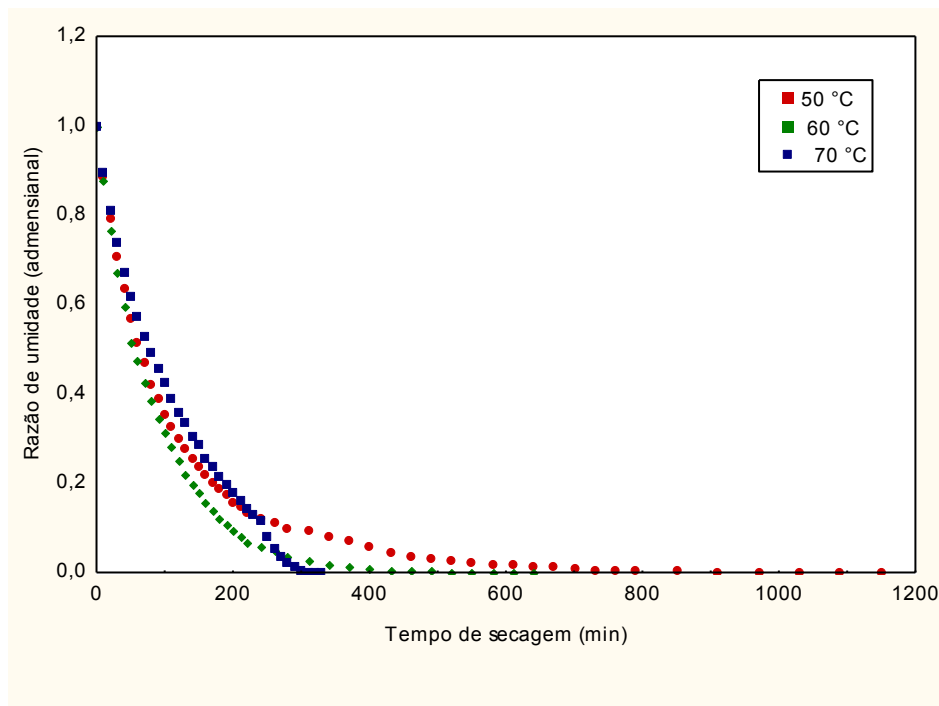


Figura 2. Curvas de secagem do abacaxi em fatias nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Na Tabela 2 têm-se os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson & Pabis e Lewis ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem do abacaxi em fatias, e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Verifica-se que, dentre os modelos testados, o de Page em geral apresentou os maiores valores de  $R^2$ , ajustando-se melhor as curvas experimentais. SILVA et al. (2003) relataram que o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais na desidratação osmótica de banana da terra.

O modelo de Henderson & Pabis apresentou pequena superioridade em relação ao modelo de Lewis. Os parâmetros  $n$  do modelo de Page,  $k$  e  $a$  do modelo de Henderson & Pabis, e  $k$  do modelo de Lewis apresentaram aumento com o aumento da temperatura.

Todos os modelos apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 99% podendo ser utilizados na estimativa das curvas de secagem do abacaxi em fatia nas condições utilizadas no presente trabalho.

Tabela 2. Parâmetros e coeficientes de determinação dos modelos ajustados para todas as temperaturas e velocidade

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetro		$R^2$ (%)
		K	n	
Page	50	0,020892	0,841652	99,85
	60	0,015794	0,940257	99,93
	70	0,012577	1,066095	99,80
Henderson & Pabis	Temperatura (°C)	K	a	$R^2$ (%)
	50	0,009307	0,949246	99,37
	60	0,011686	0,975671	99,89
	70	0,016997	1,013231	99,68
Lewis	Temperatura (°C)	K		$R^2$ (%)
	50	0,009886		99,13
	60	0,011994		99,83
	70	0,016746		99,70

Na Figura 2, estão apresentadas as curvas de secagem do abacaxi em fatia, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com ajuste pelo modelo de Page. Verifica-se visualmente nessa figura que as curvas geradas a partir do modelo de Page são próximas dos pontos experimentais. PRADO et al. (1999) e SOUSA et al. (2000) também verificaram que o melhor modelo ajustado as curvas de secagem para tâmaras e umbu foi o de Page, respectivamente.

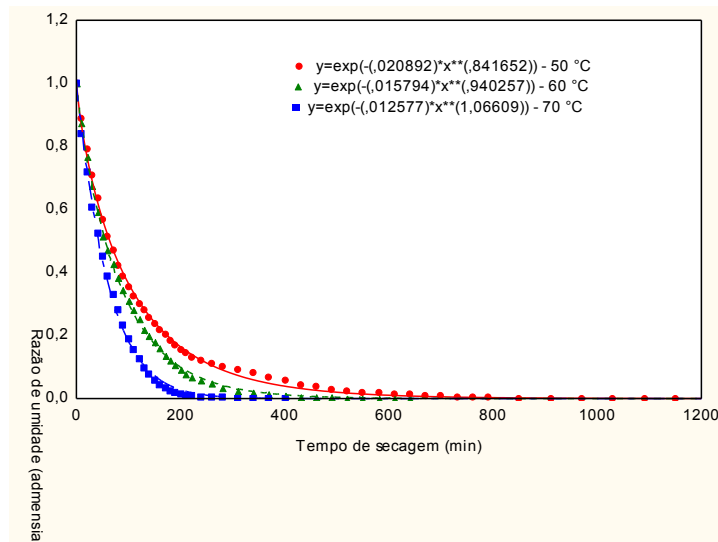


Figura 1. Curvas de secagem ajustadas pelo modelo de Page

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa experimental, concluiu-se que:

- A cinética de secagem foi influenciada pela temperatura no tempo final de secagem do abacaxi em fatias, com o menor tempo a 70 °C e o maior a 50 °C.
- Dentre os modelos estudados o de Page ajustou melhor os dados experimentais apresentando coeficientes de determinação ( $R^2$ ) levemente superior aos demais.

## AGRADECIMENTOS

A UFCG e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2001. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2001. p. 139-147.
- ALMEIDA, C. A. de.; GOUVEIA, J.P.G. de, ALMEIDA, F. de A. C.; SILVA F. L. H. da. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.6, n.1, p.145-151, 2006.
- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; CETINKAYA, F. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. **Journal of Food Engineering**, v.75, n.3, p.308-315, 2006.
- COUTO, F. A. D. Variedades: melhoramento do abacaxizeiro. **Informe Agropecuário**, v.74, n.7, p.12-14, 1981.
- DIAMANTE, L.M.; MUNRO, P.A. Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. **Solar Energy**, v.51, n.4, p.271-276, 1993.
- GOUVEIA, J.P.G. de.; MOURA, R.S.F. de; ALMEIDA, F. de A.C.; OLIVEIRA, A.M. de V; SILVA, M.M. da. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.471-474, 2002.
- HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. **Sciences des Aliments**, v.10, n.4, p.831-847, 1990.
- IBGE (Rio de Janeiro, RJ). **Produção agrícola municipal 2006**. Disponível em:<[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 15 jul. 2009.
- KEEY, R.B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, 1972. 358p.
- LEWIS, W.K. The rate of drying of solid materials. **Journal of Ind. Engineering Chemical**, v.5, p.427-432, 1921.
- MARTINS, C.R.; FARIAS, R. de M. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola – revisão. **Revista da FZVA**. v.9, n.1, p.20-32. 2002.
- PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Drying of pear 'd'Anjou' with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.56, p.97-103, 2002.
- PINTO, L.A.A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. Rio Grande, n.6, p.33-49, 1996.
- PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Isotermas de sorção de modelos matemáticos. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.1, p.143-146, 1999.
- SILVA, F.D.; CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M.E.D.; SOUZA, J.A.; SILVA, Y.C. e. Desidratação osmótica de banana da terra (*MUSA SAPIENTUM*) aplicação de modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.3, n.especial, p.69-76, 2003.
- SOUZA, S.; CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M.E.D.; MONTEIRO, A.F.F. Curvas de secagem dos frutos de umbu com pré-secagem osmótica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.2, n.2, p.33-38, 2000.
- SOUZA, C.M.A.; QUEIROZ, D.M.; LACERDA FILHO, A.F. Simulação do processo de secagem desementes de milho em camada fixa. **Scientia Agrícola**, v.59, n4, p.653-660, 2002.