



## Comparação de Modelos Matemáticos da Cinética de Secagem de cascas de Manga Espada

### *Comparison of Mathematical Models in kinetics of drying husks Manga Swords*

Anastácia Maria Mikaella Campos Nobrega André\*<sup>1</sup>, Deise Souza de Castro<sup>1</sup>, Renata Duarte Almeida<sup>2</sup>, Vanessa Fernandes de Oliveira<sup>1</sup>, Inácia dos Santos Moreira<sup>3</sup>.

**RESUMO** – A transformação das cascas da manga em farinha pode ser um processo viabilizador e propulsor, devido à praticidade de uso, redução da perecibilidade e do volume a ser transportado, com isto pesquisas envolvendo métodos de obtenção da mesma são necessárias. Objetivou-se neste estudo secar cascas de manga espada pré tratadas osmoticamente nas concentrações de 45, 55 e 65 °Brix, e secador de ar aquecido nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. As cascas da manga da variedade espada foram imersas em soluções de sacarose de 40°, 45° e 50°Brix na proporção de 1:4 (g/g) fruto/xarope por um período de 4 horas a temperatura ambiente média de 28 °C. As amostras desidratadas foram acondicionadas em cestas pré identificadas e levadas para um secador com circulação forçada de ar nas temperaturas 50, 60 e 70°C em três repetições, para descrição da cinética de secagem foram utilizados os modelos de regressão não linear propostos por Henderson & Pabis, Lewis, Logaritmo e Page. Utilizando - se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton, as curvas de secagem obtidas experimentalmente foram ajustadas por meio do programa computacional Statistica versão 7.0. Dentre os modelos de secagem estudados, o proposto por Lewis se ajusta satisfatoriamente às curvas de secagem obtidas experimentalmente, a temperatura de secagem é fortemente influenciada na cinética, com o menor tempo a 70°C e o maior a 50°C.

**Palavras-chave:** farinha de casca de manga, modelos empíricos, pré tratamento osmótico.

**ABSTRACT** – The transformation of mango peels into flour can be an enabler and propellant process due to the practicality of use, reducing perishability and the volume to be transported, with this research involving methods of obtaining the same are required. The objective of this study dry husks sword sleeve osmotically pretreated at concentrations of 45, 55 and 65 ° Brix, and heated air dryer at temperatures of 50, 60 and 70 ° C. The shells of the blade sleeve variety were immersed in solutions of sucrose of 40 °, 45 ° and 50 ° Brix in the ratio of 1:4 (g / g) fruit / syrup for a period of 4 hours at an average temperature of 28 ° C. The dehydrated samples were placed in pre identified baskets and taken to a dryer with forced air at temperatures 50, 60 and 70 ° C in three replicates for description of drying kinetics models proposed nonlinear regression were used by Henderson & Pabis, Lewis, logarithmic and Page. Utilizing - the analysis of non-linear regression by Quasi-Newton method, the drying curves were obtained experimentally adjusted by means of the Statistica computer program version 7.0. Among the models studied drying, proposed by Lewis satisfactorily responds to the drying curves obtained experimentally, the drying temperature is strongly influenced kinetics, with the shortest time at 70 ° C and higher than 50 ° C.

**Keywords:** flour mangos, empirical models, pre osmotic treatment.

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 20/08/2013; Aprovado em 10/07/2014

<sup>1</sup>Mestranda do Departamento de Engenharia Agrícola, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, UAEAg/CTRN/UFCG – Campina Grande – PB, Brasil. [anastaciamikaella@gmail.com](mailto:anastaciamikaella@gmail.com); [deise\\_castro01@hotmail.com](mailto:deise_castro01@hotmail.com); [vanessa2fernandes@gmail.com](mailto:vanessa2fernandes@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutoranda do Departamento de Engenharia de Processos, UF/CCT/UFCG – Campina Grande – PB, Brasil. email: [renatinhadual@hotmail.com](mailto:renatinhadual@hotmail.com)

<sup>3</sup>Doutoranda do Departamento de Engenharia Agrícola, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, UAEAg/CTRN/UFCG – Campina Grande – PB, Brasil. [inaciamoreira@ymail.com](mailto:inaciamoreira@ymail.com)

## INTRODUÇÃO

A industrialização de frutos é uma tecnologia emergente que visa o aproveitamento dos excedentes de produção possibilitando o consumo de frutos em todas as épocas do ano. No Brasil a produção de frutos representa 6 % da produção mundial, o que torna o país o terceiro maior produtor de frutos (ANDRIGUETO et al., 2010).

A manga pertence a família Anacardiáceae e segundo FELIPE et al. (2006) representa grande expressão econômica no mercado brasileiro e internacional. É uma fruta polposa, de aroma e cor muito agradáveis, que faz parte do elenco das frutas tropicais de importância econômica não só pela aparência exótica, mas também por ser uma rica fonte de carotenóides, minerais e carboidratos (JAYARAMAN, 1988).

Dentre os processos para aproveitamento e geração de subprodutos da manga, destaca-se a polpa da fruta, a qual substitui a fruta in natura no preparo de néctares, doces, geléias, sorvetes e apresenta a vantagem de ser encontrado no mercado no período de entressafra das frutas (EMBRAPA, 2003).

As tecnologias de processamentos de frutos apresentam também como resultados a geração de resíduos agroindustriais, os quais de acordo com AZEVEDO et al. (2008) correspondente a 28-43% do peso total da fruta.

Pesquisas realizadas apontam em alguns casos a riqueza de nutrientes presentes em seus resíduos. A casca da manga rica em cálcio, sódio, potássio, ferro, fósforo, magnésio e manganês, possui mais fibras, vitamina C, proteínas, carboidratos e pectina que a polpa (FELIPE et al, 2006; DAMIANI et al, 2009; MARQUES et al, 2010; COELHO & AZEVEDO, 2012).

A transformação das cascas da manga em farinha pode ser um processo viabilizador e propulsor, devido à praticidade de uso, redução da perecibilidade e do volume a ser transportado (AZEVEDO et al, 2008), porém pesquisas envolvendo métodos de obtenção da mesma são necessárias.

Objetivou-se neste estudo secar cascas de manga espada pré tratadas osmoticamente nas concentrações de 45, 55 e 65 °Brix, e secador de ar aquecido nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados experimentais foram obtidos no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

As mangas da variedade Espada foram adquiridas no comércio local de Campina Grande em seu completo estágio de maturação, livres de danos físicos e defeitos fisiológicos e encaminhadas para o laboratório em sacos estéreis. Os frutos foram selecionados, lavados e

sanitizados, e posteriormente descascados com auxílio de faca de aço inoxidável.

Os xaropes de sacarose foram preparados a partir da dissolução total do açúcar em água destilada até atingir a quantidade de sólidos solúveis de 40, 45 e 50°Brix. As cascas de manga foram cortadas em fatias de 3 x 2 cm, e imersas nas soluções na proporção de 1:4 (g/g) fruto/xarope por um período de 4 horas a temperatura ambiente média de 28 °C.

O teor de água inicial das cascas desidratadas nas diferentes soluções foi determinado, segundo método padrão de estufa a  $105 \pm 3$  °C, utilizando três repetições da amostra, cada uma com aproximadamente 10 g, que permaneceram em estufa por 24 h (BRASIL, 2008). Após serem retiradas da estufa, as amostras foram resfriadas em dessecador por 15 min, e pesadas em balança analítica; a determinação do teor de água inicial foi determinado pela fórmula:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \quad (1)$$

em que:

X - massa de água;

$m_{H_2O}$  - massa de água;

$m_s$  - massa seca.

As amostras desidratadas foram acondicionadas em cestas pré identificadas, cada cesta contendo aproximadamente 100 g de amostra, que foram uniformemente espalhadas com auxílio de espátula de aço inoxidável, obtendo-se uma camada aproximada de 1,0 cm de espessura. O equipamento utilizado para a determinação da cinética de secagem foi um secador com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, e velocidade do ar de secagem de 2,5m/s.

As curvas foram determinadas com três níveis de temperatura (50, 60, e 70 °C) em três repetições. A umidade relativa média do ar ambiente foi de 52%. As leituras em relação à perda de peso da amostra foram realizadas em intervalos regulares, iniciando-se a cada 5 min, acompanhada até atingir peso constante. Os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade ( $X^*$ ):

$$X^* = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

Em que:

X – teor de água, base seca, bs;

$X_e$  – teor de água de equilíbrio, bs;

$X_0$  – teor de água inicial, bs.

Para descrição da cinética de secagem foram utilizados os modelos de regressão não linear propostos por Henderson & Pabis, Lewis, Logaritmo e Page as quais são apresentadas na Tabela 01..

**Tabela 01:** Modelos de regressão não linear utilizados para descrição da cinética de secagem.

Modelo	Equação
Henderson & Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Lewis	$RX = \exp(-k \cdot t)$
Logaritmo	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$

t - tempo de secagem (min); k, - constantes de secagem; a, c, n - coeficientes dos modelos.

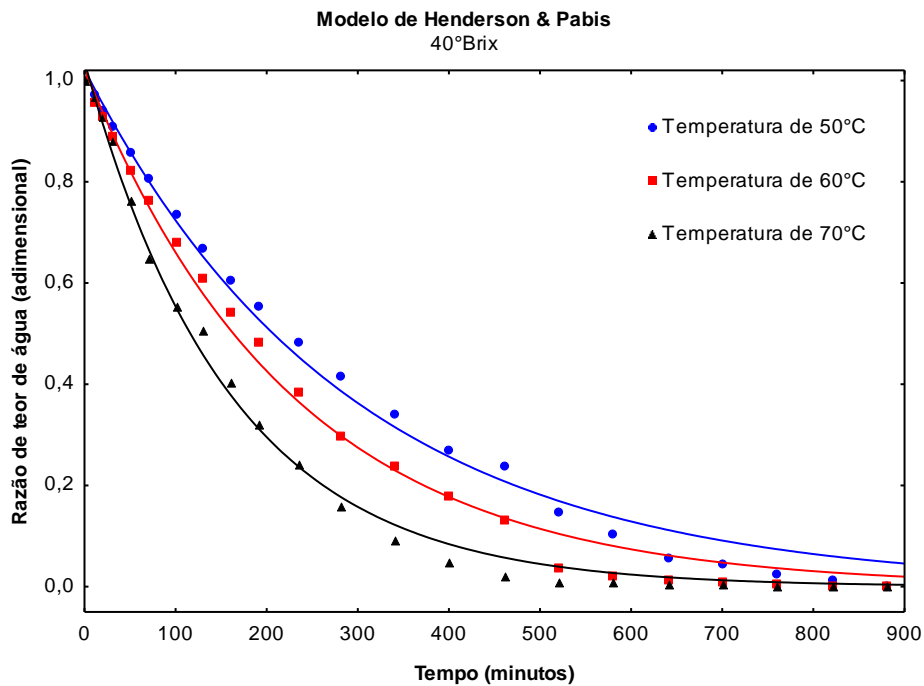
Os modelos de regressão não linear de Henderson & Pabis, Lewis, Logaritmo e Page, foram ajustados aos dados experimentais da secagem das cascas de manga pré desidratadas osmoticamente. As curvas de secagem obtidas experimentalmente foram ajustadas por meio do programa computacional Statistica versão 5.0@ utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton.

desidratação osmótica em soluções de sacarose a 40, 45 e 50°Brix, para a temperatura ambiente 25°C, aplicadas aos modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Lewis, Logaritmo e Page, respectivamente.

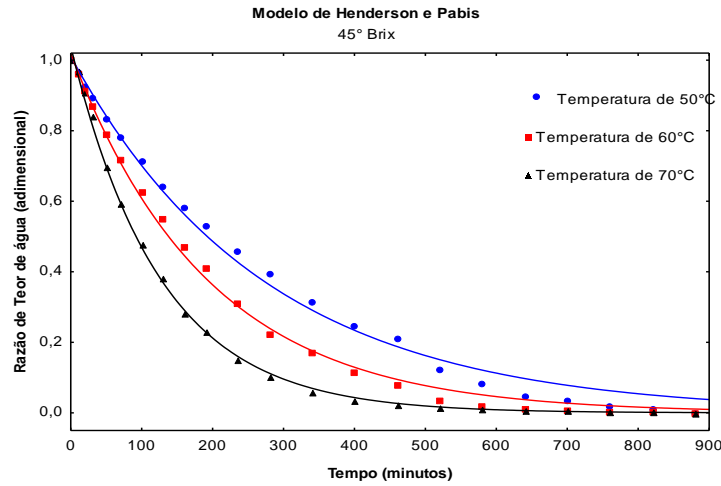
As curvas de secagem foram obtidas de forma adimensional do conteúdo de teor de água, em função do tempo, as quais se pode observar que o aumento da temperatura do ar de secagem provoca uma redução no tempo de secagem até que o equilíbrio seja atingindo, fato observado por diversos pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas (ALEXANDRE, 2009; MENGES & ERTEKIN, 2006; MOHAPATRA & RAO, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

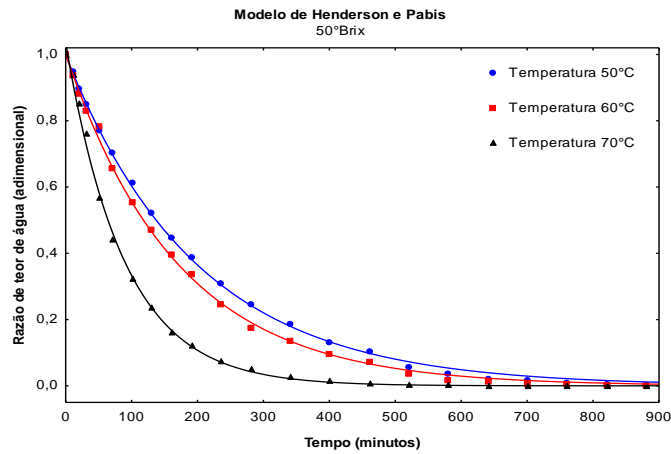
Observa-se, nas Figuras de 01 a 12, as curvas de secagem da casca de manga Espada, submetida à



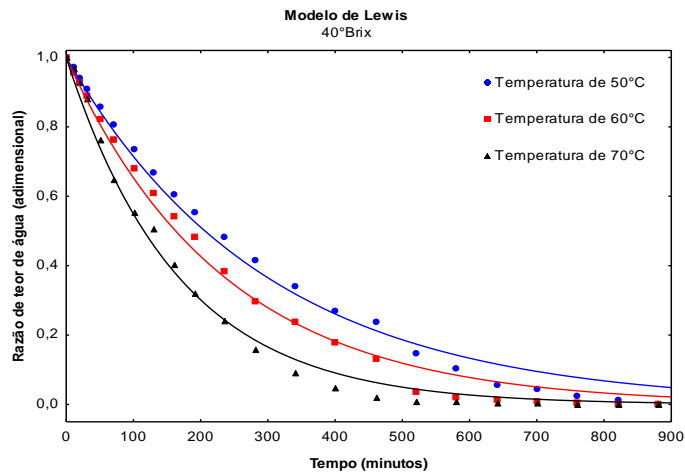
**Figura 01-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 40°Brix, pela equação de Henderson e Pabis, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C



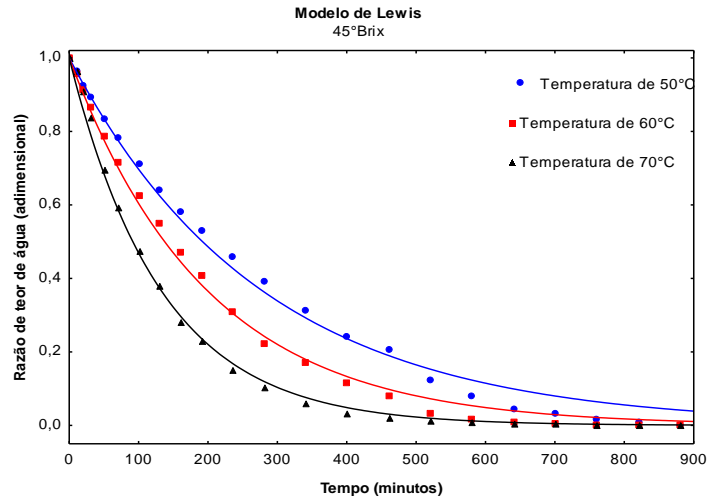
**Figura 02-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 45°Brix, pela equação de Henderson e Pabis, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C



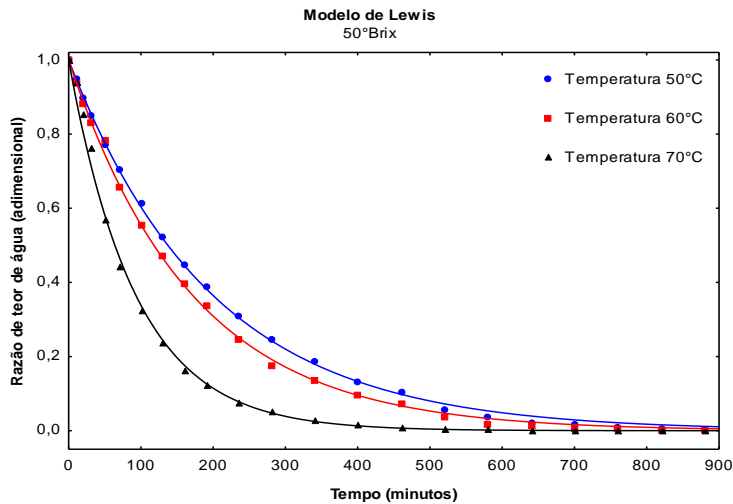
**Figura 03 -** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 50°Brix, pela equação de Henderson e Pabis, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



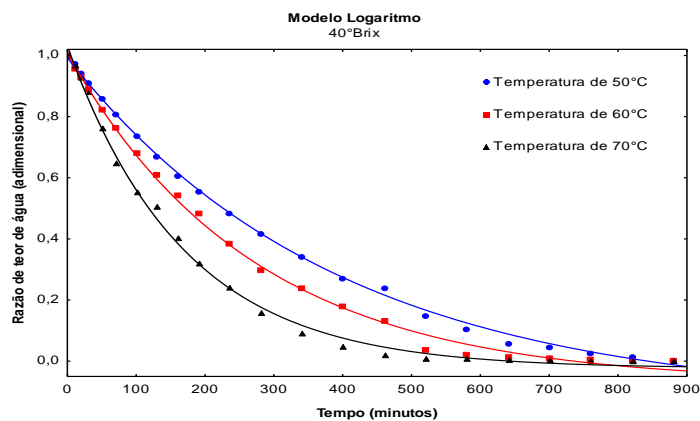
**Figura 04-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 40°Brix, pela equação Lewis, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



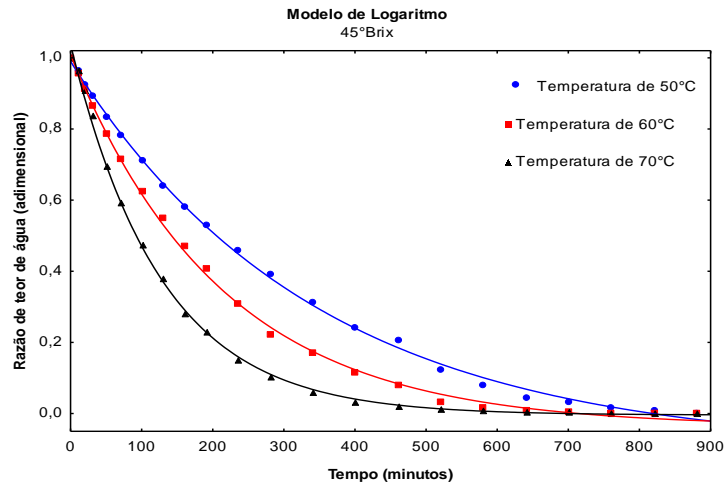
**Figura 05-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 45°Brix, pela equação de Lewis, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



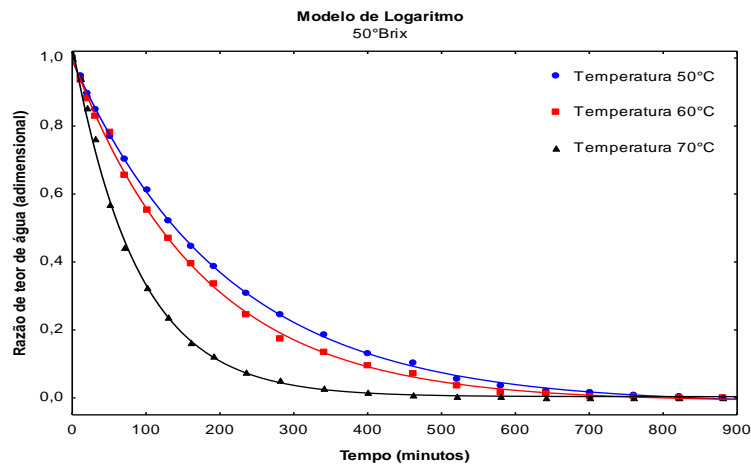
**Figura 06-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 50°Brix, pela equação de Lewis, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



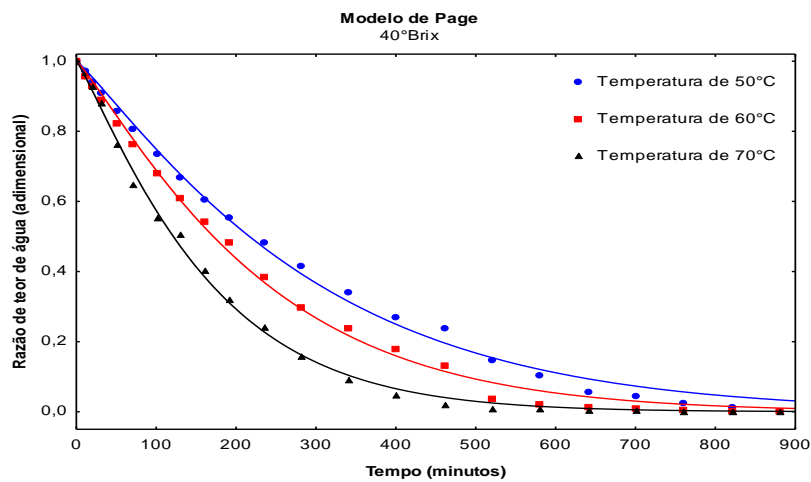
**Figura 07-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 40°Brix, pela equação de Logarítmico, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



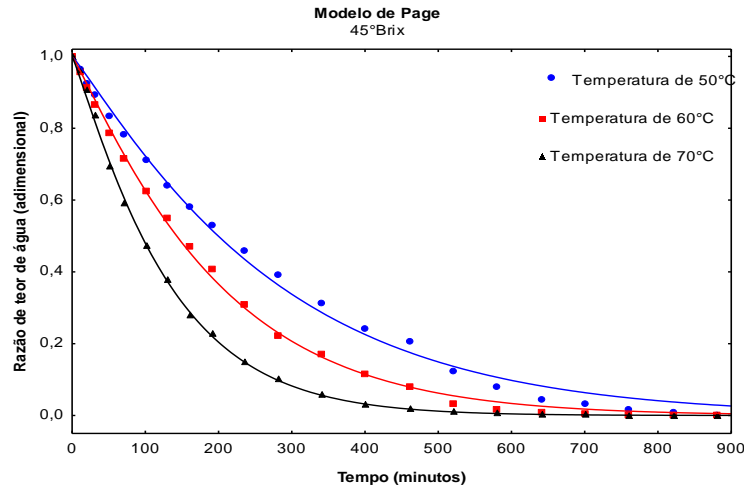
**Figura 08-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 45°Brix, pela equação de Logaritmo, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



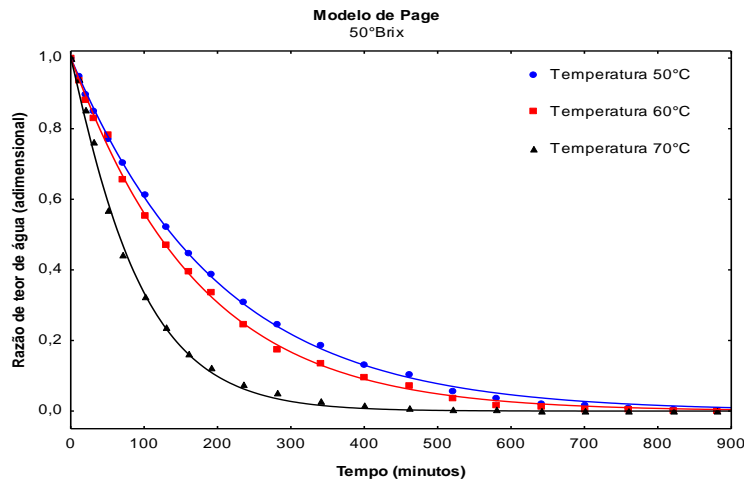
**Figura 09-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 50°Brix, pela equação de Logaritmo, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



**Figura 10-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 40°Brix, pela equação de Page, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



**Figura 11-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 45°Brix, pela equação de Page, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.



**Figura 12-** Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da casca de manga Espada, desidratada osmoticamente a 50°Brix, pela equação de Page, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Na Tabela 02 se encontram os parâmetros de ajuste das equações de Henderson & Pabis, Lewis, Logaritmo e Page aos dados experimentais da casca de manga Espada desidratadas na temperatura ambiente em diferentes concentrações de sacarose e temperaturas de secagem.

Pode-se observar na Tabela 02 o valor de (R2) como parâmetro de comparação do grau de adequação dos diversos modelos, para todos os modelos os coeficientes de determinação foram superiores a 99,18%. De acordo com ZANOELO et al. (2007) qualquer modelo de secagem com valores de (R2) 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; GOYAL et al., 2006; SILVA et al., 2008).

Na equação de Henderson & Pabis, percebe-se que entre as diferentes concentrações da solução de

sacarose (40, 45 e 50°Brix) para as temperaturas de secagem, nota-se que os valores de “a” são muito próximos, variando de 0,99836 para a concentração de sacarose de 50°Brix a temperatura de secagem de 50°C e 1,03887 para a concentração de sacarose de 45°Brix a temperatura de secagem de 70°C.

Os valores do parâmetro “k” na equação de Henderson & Pabis, Lewis e Logaritmo aumenta com a elevação da temperatura (50, 60 e 70°C) e da concentração de sacarose (40, 45 e 50°Brix).

Para a equação de Page, os valores do parâmetro “k” nas concentrações de sacarose apresentaram comportamento inverso às demais equações estudadas, com o aumento a concentração de sacarose os valores do parâmetro decrescem. SILVA et al. (2009) também verificaram este comportamento durante a secagem, em leite fixo da banana-maçã, fatiada em rodela às temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Segundo os autores, esta característica pode ser intrínseca à equação de Page.



**Tabela 02-** Parâmetros obtidos para equações de Page, Henderson & Pabis, Lewis e Logaritmo, por regressão não linear da secagem de casca da manga com présecagem osmótica em soluções de sacarose nas concentrações de 40, 45 e 50°Brix e nas temperaturas de 50, 60 e 70°C em estufa com circulação de ar

Modelo	T(°C)	°Brix	a	c	n	K	R <sup>2</sup>
Henderson & Pabis	50	40	1,02239	-	-	0,00345	0,9927
		45	1,01090	-	-	0,00366	0,9937
		50	0,99836	-	-	0,00503	0,9993
	60	40	1,02383	-	-	0,00438	0,9932
		45	1,01892	-	-	0,00516	0,9971
		50	1,00249	-	-	0,00589	0,9989
	70	40	1,03790	-	-	0,00628	0,9962
		45	1,03887	-	-	0,00794	0,9989
		50	1,03607	-	-	0,01134	0,9983
Lewis	50	40	-	-	-	0,00336	0,9918
		45	-	-	-	0,00361	0,9935
		50	-	-	-	0,00505	0,9994
	60	40	-	-	-	0,00426	0,9924
		45	-	-	-	0,00504	0,9966
		50	-	-	-	0,00587	0,9989
	70	40	-	-	-	0,00599	0,9946
		45	-	-	-	0,00756	0,9973
		50	-	-	-	0,01083	0,9971
Logaritmo	50	40	1,12361	-0,13056	-	0,00255	0,9988
		45	1,09111	-0,01010	-	0,00291	0,9990
		50	1,01067	-0,01773	-	0,00479	0,9998
	60	40	1,07766	-0,07094	-	0,00369	0,9976
		45	1,04509	-0,03640	-	0,00469	0,9989
		50	1,00957	-0,01041	-	0,00572	0,9991
	70	40	1,05457	-0,02340	-	0,00591	0,9973
		45	1,04175	-0,00424	-	0,00785	0,9989
		50	1,03369	0,00364	-	0,01146	0,9983
Page	50	40	-	-	0,00157	1,13213	0,9960
		45	-	-	0,00206	1,09871	0,9958
		50	-	-	0,00467	1,01441	0,9994
	60	40	-	-	0,00186	1,15023	0,9967
		45	-	-	0,00285	1,10701	0,9988
		50	-	-	0,00512	1,02657	0,9991
	70	40	-	-	0,00282	1,14695	0,9980
		45	-	-	0,00433	1,11433	0,9992
		50	-	-	0,00743	1,08378	0,9981

## CONCLUSÕES

Dentre os modelos de secagem estudados, o proposto por Lewis se ajusta satisfatoriamente às curvas de secagem obtidas experimentalmente para a casca de manga Espada. A temperatura de secagem é fortemente influenciada na cinética da casca de manga Espada, com o menor tempo a 70°C e o maior a 50°C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. *Revista Brasileira de Produtos Agrícolas*, v.11, n.2, p.123-128, 2009.
- ANDRIGUETO, J. R.; NASSER, L. C. B.; TEIXEIRA, J. M. A. Produção integrada de frutas: conceito, histórico e a evolução para o sistema agropecuário de produção integrada -SAPI. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: jun. 2014.
- AZEVEDO, L.C.DE; AZOUBEL, P.M.L; SILVA,I.R.A; ARAUJO, A.J. de B.; OLIVEIRA, S.B. Caracterização físico-química da farinha da casca de manga cv. tommy atkins. *Anais do XXI CBCTA*, 2008.
- BRASIL. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4ª ed. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, Brasil, 1018p., 2008.
- COELHO, E. M.; AZEVEDO, L. C. Comparação entre técnicas de secagem para obtenção de farinha a partir



- da casca de manga cv. Tommy Atkins. In: VII Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação – CONNEPI, Palmas-To, 2012.
- DAMIANI, C.; VILAS BOAS, E. V.; SOARES JUNIOR, M.; CALIARI, M.; PAULA, M. L.; ASQUIRI, E. R. Avaliação química de geléias de manga formuladas com diferentes níveis de cascas em substituição à polpa. *Revista Ciências. agrotecnica.*, v. 33, n. 1, p. 177-184, jan./fev., 2009.
- DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. *Journal of Food Engineering*, v.77, n.3, p.559-65, 2006
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: polpa e suco de frutas/ Embrapa Agroindústria de Alimentos, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 123p.: il. -(Série agronegócios).
- FELIPE, E. M. F.; COSTA, J. M. C.; MAIA, G. A.; HERNANDEZ, F. F. H. Avaliação da qualidade de parâmetros minerais de pós-alimentícios obtidos de casca de manga e maracujá. *Alimentos e nutrição*, v. 17, n. 1, p. 79-83, 2006
- GOYAL, R.K. et al. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. *Biosystems Engineering*, v.95, n.1, p.43-9, 2006.
- GUNHAN, T. Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, v.46, n.11-12, p.1667-79, 2005.
- JAYARAMAN, K. S. Development of intermediate moisture tropical fruits and vegetable products: technological problems and prospects. Essex: Elsevier Applied Sciences, 1988. 175p.
- MARQUES, A; CHICAYBAM, G.; ARAUJO, M. T. MANHÃES, L. R. T.; SABAA-SRUR, A. U. O. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. Tommy atkins. *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP*, v. 32, n. 4, p. 1206-1210, Dezembro 2010.
- MENGES, H.O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, v. 77, n.1, p.119-125, 2006.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*. p.513-518, 2005.
- SACILIK, K.; UNAL, G. Dehydration characteristics of Kastamonu garlic slices. *Biosystems Engineering*, v.92, n.2, p.207-15, 2005.
- SILVA, A.S. et al. Drying kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and stem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.6, n.1, p.13-9, 2008.
- Silva, A. S.; Melo, K. Dos S.; Alves, N. M. C.; Gomes, J. P. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande*, v. 9, n. 2, p. 107-115. 2009.
- ZANOELO, E.F.; di 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.