

# Cinética de secagem do mamão formosa em secador de leito fixo

Lima, R. C. F.<sup>1\*</sup>; Peixoto, E. Z. H.<sup>2\*</sup>; Saraiva, S.H.<sup>3</sup>;

<sup>1</sup>Graduando Engenharia Química, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil.

<sup>2</sup>Graduando Nutrição, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil.

<sup>3</sup>Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil.

\*e-mail: renandelima02@gmail.com

## Resumo

Estima-se que anualmente o Brasil tem um prejuízo em torno de 1 bilhão de dólares por desperdício de frutas e hortaliças, sendo as porcentagens estimadas de perdas de mamão em 23,7%. Alimentos submetidos à secagem, além de apresentarem melhor conservação e maior facilidade de armazenamento, também concentram maior quantidade de nutrientes devido à evaporação da água. A espessura do mamão é um parâmetro que contribui significativamente para a redução do tempo de secagem. O objetivo do trabalho foi avaliar a cinética de secagem em leito fixo do mamão formosa em rodela de espessuras de 5; 10; e 15 mm na temperatura fixa de 63°C, e a aplicação de três modelos matemáticos, para representação do processo de secagem. Conforme os resultados obtidos, o processo de secagem ocorre à taxa decrescente com o aumento da espessura. O modelo que melhor representa o processo de secagem foi o modelo de Page para todas as espessuras, sendo mais bem ajustado para maiores tempos de secagens.

Palavras chaves: mamão, secagem, espessura, ajuste de modelo.

## Abstract

It's estimated that annually Brazil loses around 1 billion dollars because of waste of fruits and vegetables, and the percentages estimated of the losses of papaya is 23,7%. Food subjected to drying, in addition to their better preservation and easier storage, also concentrate greater amount of nutrients due to water evaporation. The thickness of papaya is a parameter that contributes significantly to the reduction of the drying time. The objective was to evaluate the drying kinetics in a fixed bed of papaya in slices with the thicknesses of 5; 10; and 15 mm at the fixed temperature of 63 ° C, and the application of three mathematical models to represent the drying process. According to the results, the drying process takes place at decreasing rate with increased thickness. The model that best represents the drying process was the Page model for all thicknesses and are better adjusted to higher drying times.

Keywords (Palavras chaves): papaya, drying, thickness, adjustment model.

## 1. Introdução

O mamoeiro, *Carica papaya* L., é uma planta herbácea, cultivado em países tropicais e com origem, no noroeste da América do Sul. Descoberto pelos espanhóis no Panamá, o mamão é uma das fruteiras mais cultivadas em países tropicais. Mesmo sendo uma das fruteiras conhecidas, principalmente, na América do Sul, em meados do século XVIII, passou a ser amplamente conhecido no Oriente e África, sendo agora largamente cultivado em países com Índia, Sri Lanka, Arquipélago Malaio além de países da África tropical [1].

O Brasil ocupa a segunda posição entre os países com maior produção de mamão, na ordem de 1,5 milhões de toneladas no ano de 2014. A maior parte da produção de mamão no Brasil é concentrada em dois estados, a Bahia (49%) e o Espírito Santo (25%), tendo uma área de plantio correspondente a 12.234 ha e 6.342 ha respectivamente [2].

Do ponto de vista biológico os produtos de origem vegetal, principalmente o mamão, sofrem grandes perdas nas produções, podendo atingir cerca de 30 a 40% da produção, devido a grande concentração de água, ou até mesmo pela deformação dos produtos em seu manuseio de colheita ou transporte [3]. Sendo

extremamente perecível, não se permite o uso do frio para o armazenamento. Alguns processamentos podem ser eficientes no combate às perdas e, conseqüentemente, a valorização das matérias primas. As operações de desidratação ou secagem são essenciais nas indústrias alimentícias, o principal objetivo é a redução da umidade do material para um nível em que a atividade microbiana e a atividade enzimática sejam minimizadas. Trata-se de um fenômeno que envolve transferência de calor e massa, acompanhado de mudança de fase [4].

Apesar de o mamão estar disponível no mercado, não fornece informações técnicas na literatura sobre a cinética de secagem e atividade de água do alimento. Estudos desse tipo são de extrema importância, pois aperfeiçoam o processo de secagem e asseguram maiores qualidades na obtenção de subprodutos através do mamão [5].

Em alguns trabalhos estudados como o de Menezes et al [6] e Chielle [7], a utilização de equações semi-empíricas provenientes do modelo difusivo ou de relações com outros fenômenos, possuem um único objetivo, propor a simulação do comportamento da curva de cinética de secagem a partir de ajustes dos dados experimentais.

Com base nas informações citadas, este trabalho propõe analisar a influência da espessura da amostra, com velocidade e temperatura fixa, proposta por modelos empíricos e semi-empíricos, estimar os parâmetros para os modelos por regressão não-linear, utilizando o *software* Sigmaplot 11.0, através das curvas de secagem do processo em leito fixo do mamão formosa.

## 2. Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Operações Unitárias do departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo.

Como matéria prima utilizou-se o mamão formosa (*Carica papaya L.*), o qual foi adquirido em mercado local. Os mamões foram lavados e sanitizados, descascados e fatiados em rodela, com faca de aço inox. Para obter as espessuras das amostras utilizou-

se um paquímetro e determinou 3 diferentes espessuras a serem estudadas, 5; 10; e 15 mm.

Logo em seguida as amostras foram dispostas em cesto metálico e encaminhadas para o secador.

A secagem da amostra foi realizada em secador de leito fixo (Figura 1), na temperatura de 63°C e com velocidade fixa de 1,0 m s<sup>-1</sup>.

O acompanhamento da redução do conteúdo de umidade das amostras foi realizado por pesagem em balança digital, em intervalo de tempo descontínuo, até peso constante.

A análise dos dados experimentais e a representatividade do processo de secagem foram realizadas utilizando modelos propostos pela literatura apresentados na Tabela 1.



**Figura 1:** Secador de leito fixo do tipo bandeja. Fonte: Autor, 2016.

**Tabela 1:** Modelos empregados para representação do processo de secagem do mamão formosa.

Nome do Modelo	Referência
Lewis	Bruce (1985)
Page	Page (1949)
Henderson e Pabis	Henderson e Pabis (1961)

RU- razão de umidade; a e n – constantes do modelo; k – constante de secagem (h<sup>-1</sup>); t – tempo (h).

Para o cálculo da razão de umidade utilizou-se a equação 1.

$$RU = \frac{X - X_e}{X + X_e} \quad (1)$$

Onde,  $X_t$  é a umidade em determinado tempo  $t$  (min),  $X_e$  é a umidade de equilíbrio e  $X_0$  é a umidade inicial das amostras.

Os parâmetros dos modelos foram obtidos através do método de regressão não-linear, utilizando o *software* Sigmaplot 11.0. O critério de escolha do melhor modelo foi com base nos maiores valores obtido do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e no menor valor do erro padrão da regressão (SE). As equações 2 e 3 apresentam como são calculados os valores de  $R^2_a$  e SE respectivamente.

$$R^2_a = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - \bar{RU})^2} \cdot \frac{N-1}{N-p} \quad (2)$$

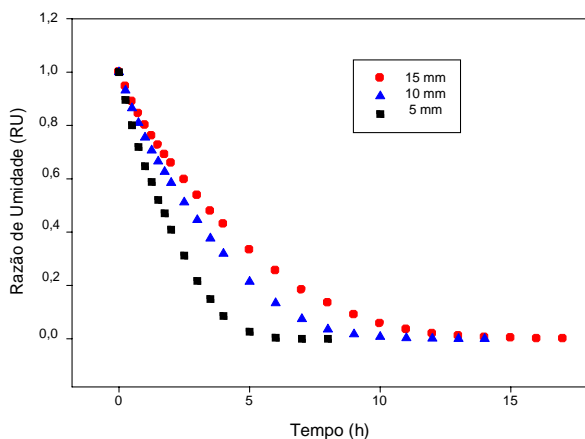
$$SE = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (RU_{exp,i} - RU_{prev,i})^2}{N-p} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Sendo  $RU_{exp}$  a razão de umidade obtida experimentalmente,  $RU_{pre}$  a razão de umidade predita pelo modelo matemático,  $N$  o número de observações realizadas ao longo do processo de secagem e  $p$  é o número de parâmetros do modelo proposto.

O conteúdo de umidade das amostras, tanto no início quanto do final do processo, foi determinado em estufa com circulação de ar a 105°C por 72 horas.

### 3. Resultados e Discussão

Na figura 2 apresenta as curvas de secagem para o mamão formosa em três distintas espessuras, fixadas na mesma temperatura.



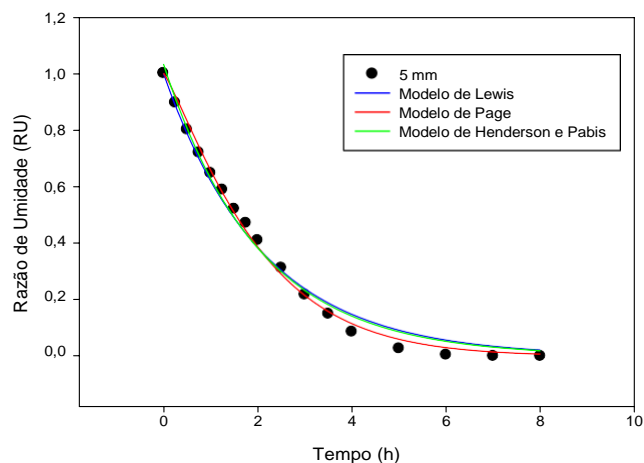
**Figura 2:** Curvas de secagem do mamão formosa para espessuras de 5; 10; e 15 mm.

Observa-se a partir da figura 2, que a taxa de perda de umidade é mais rápida no início do processo de secagem e tempo de estabilização em função da espessura da amostra: 8 horas (480 min) para espessura de 5 mm, 14 horas (840 min) para espessura de 10 mm e 17 horas (1020 min) para espessura de 15 mm. Além disso, é possível observar que o incremento na espessura apresenta efeito contrário na taxa de secagem, ou seja, a taxa de secagem diminui com o aumento da espessura.

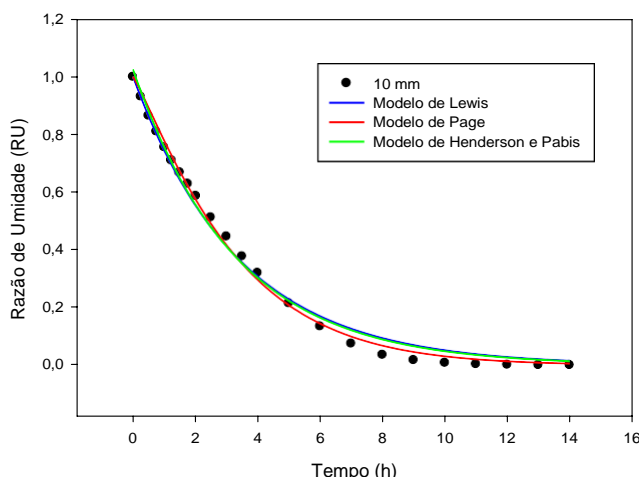
A resistência encontrada pela umidade ao migrar do interior da amostra até a superfície justifica a relação da diminuição da taxa de secagem com o aumento da espessura.

Silva et al [8] e Nguyen & Price [9] observaram o efeito parecido ao estudarem a secagem da banana maçã com variação de espessura de 5,0; 7,5; e 10,0 mm e a secagem de banana com variação de 10,0 e 20,0 mm respectivamente.

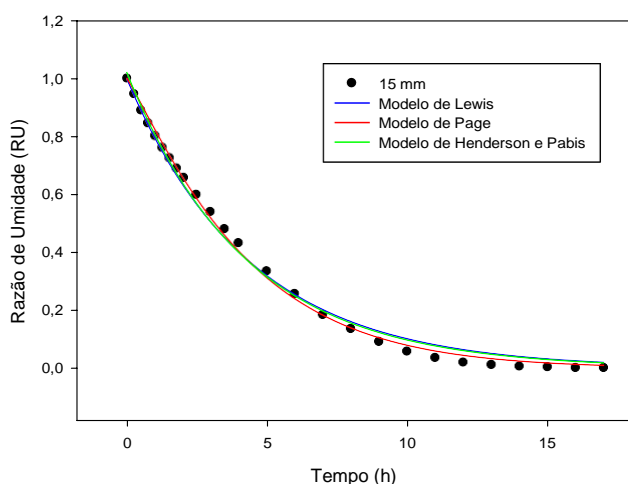
As figuras de 3 a 5 apresentam os modelos de Lewis, Page e Henderson e Pabis, ajustados na secagem, para cada espessura das amostras do mamão formosa, apresentadas na forma de RU em função do tempo em horas.



**Figura 3:** Curva de cinética de secagem e modelos ajustados para espessura de 5 mm.



**Figura 4:** Curva de cinética de secagem e modelos ajustados para espessura de 10 mm.



**Figura 5:** Curva de cinética de secagem e modelos ajustados para espessura de 15 mm.

Na tabela 2 encontram-se os parâmetros dos modelos de Lewis, Page e Henderson e Pabis, ajustados para as curvas de secagens para as espessuras estudadas. De acordo com a tabela 2, pode-se observar que todos os modelos apresentaram ajustes com elevados coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e baixos erros padrões da regressão (SE). Todos os modelos obtiveram os melhores ajustes para espessuras de 15 mm estando de acordo com Silva et al (2009), uma vez que seu trabalho, também observa melhores ajuste para secagens com maiores espessuras e consequentemente, maior tempo de operação.

Um fator importante a ser observado na tabela 2, é a diminuição do parâmetro k com o aumento da espessura da amostra. Essa característica observada, sobre essa diminuição, pode ser própria do modelo, visto que não se observa na literatura respostas para essa suposição.

O modelo de Page foi o modelo que obteve o melhor ajuste aos dados experimentais, nas diferentes espessuras com os maiores  $R^2_a$  e menores SE. Outro fator importante para se escolher o modelo de Page, é a simplicidade na aplicação, ou seja, o modelo possui poucos parâmetros à serem estimados.

A tabela 3 apresenta dados da umidade em base seca e base úmida das amostras de mamão. Observa-se que a umidade inicial do mamão é em torno de 88% a 89% em base úmida, como se observa em [10].

**Tabela 2:** Parâmetros de ajustes dos modelos das curvas de cinética de secagem do mamão formosa, coeficientes de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e erro padrão da regressão (SE)

Modelos	Espessura (mm)	Parâmetros			$R^2_a$	SE
		a	k	n		
Lewis	5	-	0,47754469	-	0,98870467	0,03567305
	10	-	0,29495339	-	0,99227398	0,03081691
	15	-	0,22869643	-	0,99388584	0,02766484
Page	5	-	0,41868884	1,18422533	0,99572981	0,02193382
	10	-	0,25013747	1,14152223	0,99661747	0,02087054
	15	-	0,19228446	1,12027806	0,99712451	0,01897212
Henderson e Pabis	5	1,03339322	0,49681158	-	0,98954865	0,03431444
	10	1,02570318	0,30497769	-	0,99278132	0,0297879
	15	1,0215943	0,23533362	-	0,99427588	0,02676789

**Tabela 3:** Dados de umidade em base seca e base úmida, antes e após a secagem.

Secagem	Xb.s (inicial)	Xb.u % (Inicial)	Xb.s (final)	Xb.u % (final)
5 mm	8,052	88,95	0,176	14,97
10 mm	7,831	88,68	0,137	12,04
15 mm	8,382	89,34	0,131	11,60

#### 4. Conclusão

Mediante os resultados apresentados pode-se concluir que quanto maior a espessura da amostra, maior o tempo de secagem, pois a resistência para a migração de águas livres do interior da amostra até a superfície é proporcional à espessura.

O modelo que melhor representou o processo de secagem foi o modelo de Page, modelo que obtém a maior simplicidade, devido a quantidade de parâmetros.

#### 5. Referências

[1] BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria de Desenvolvimento Rural. Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais. **Mamão para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília, DF: EMBRAPA – SPI (Série Publicações Técnicas, FRUPEX), v.9, 52p. 1994.

[2] AGRIANUAL 2015. **Anuário da Agricultura Brasileira**. Fundação Nacional de Pesquisa. 2015.

[3] CORNEJO, F. E. P.; NOGUEIRA, R. I.; WILBERG, V. C. **Secagem como método de conservação de frutas**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Documentos 54. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1ª Ed. 2003.

[4] EL-AOUAR, Â. A. **Estudo do processo de secagem de mamão formosa (*Carica papaya* L.) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. 215 f.

Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.

[5] CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A.M.; STRINGHETA, P.C.; MARQUES, J.A.; SILVA, P.I. Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v.22, n.1, p.121-132, 2004.

[6] MENEZES, M. L.; FRAGA, B. S.; DANILUSSI, M. S; UGRI, M. C. B. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C. **Análise da cinética de secagem em leito fixo de sementes de uva da variedade bordô**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 2013, Maceió – AL. **Anais**. Maceió: Edufal, 2015. v. 3, p. 1805 – 1815.

[7] CHIELLE, D. P. **Estudo da secagem de sementes de mamão papaya (*Carica papaya* L.) em secador convectivo horizontal e leito de jorro e a influência na extração de óleo**. 2014. 129 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

[8] SILVA, A. S.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; FERNANDES, T. K. S.; FARIAS, P. A.; Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n2, p 129-136, 2009.

[9] NGUYEN, M.H.; PRICE, W.E. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.1, p 200-207, 2007.

[10] NEPA – Núcle de estudos e pesquisa em alimentação. UNICAMP. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. 4. ed. Ampliada e Revisada. Campinas, SP: UNICAMP, 2011. Disponível em: <[http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco\\_4\\_edicao\\_o\\_ampliada\\_e\\_revisada](http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada)>. Acesso em: 06 set. 2016.