

SECAGEM DA CASCA DE MANGA TOMMY ATKINS: COEFICIENTE DE DIFUSIVIDADE EFETIVO E MODELAGEM MATEMÁTICA

Drying of Tommy Atkins mango peel: effective diffusivity coefficient and mathematical modeling

Resumo:

O aproveitamento de resíduos como matéria-prima para a produção de alimentos processados surge como uma alternativa para reduzir o desperdício de alimentos. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de secar a casca da manga variedade Tommy Atkins, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais. O coeficiente de difusividade efetiva (D_{ef}) na secagem da manga Tommy Atkins, estimado pelo modelo Fick, aumentou com a elevação da temperatura, os valores do coeficiente de difusividade efetiva obtidos nesta pesquisa variaram entre $6,6611 \times 10^{-10}$ a $16,383 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para o teor de água inicial analisado, a energia de ativação para difusão líquida para manga Tommy Atkins foi de $38,061 \text{ kJ mol}^{-1}$. Dentre os modelos avaliados e conforme os resultados obtidos para os coeficientes de determinação ajustado, a equação de Page seguida pela equação de Henderson e Pabis foram as que melhor representaram os dados experimentais para descrever o processo de secagem da manga Tommy Atkins para a faixa de temperatura de 50 a 70 °C.

Abstract:

The development of this research aimed to produce a pineapple and ginger wine, studying the physical-chemical characteristics of the clarified juice, the sensorial acceptance and the intention to buy the final product. The total pineapple juice had physical and chemical characteristics: pH (3.52 ± 0.03), total soluble solids (13.40 ± 0.0) and titratable total acidity (0.55 ± 0.0 %). During fermentation the pH, which has an inverse relationship with the acidity, increased gradually, from 3.49 ± 0.03 at the beginning to 3.66 ± 0.06 at the end of the fermentation (72h). In the sensorial analysis, the wine received an overall mean 6.92 ("I liked it slightly"). The Acceptability Index was 76.9% and 36.6% of the tasters claimed that they would / would certainly buy the wine. Sensory analysis and purchase intent revealed that a better technique is needed for sensory characteristics, a more sweetened drink with a more pronounced fruit flavor and aroma and, consequently, greater commercial appeal.



Larissa Monique de Sousa Rodrigues, Jamilly Salustiano Ferreira Constantino, Anastácia Maria Mikaella Campos Nóbrega André, Agdylannah Felix Vieira, Renata Duarte Almeida ¹

¹Universidade Federal de Campina Grande
E-mail: larissamonique@gmail.com

Contato principal

Larissa Monique de Sousa Rodrigues



Palavras chave: Cinética de secagem, energia de ativação, difusividade efetiva

Keywords: Kinetics of drying, activation energy, effective diffusivity



INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil é responsável por grande parte da manga produzida no País. De acordo com o IBGE (2013), o Brasil produziu 1,163 milhão de toneladas de mangas, destacando-se os Estados da Bahia, São Paulo e Pernambuco, que, juntos, foram responsáveis por 77,25% da produção brasileira. Com esses resultados, o Brasil é o sétimo maior produtor e o quarto maior exportador de manga do mundo (FAO, 2015). A cultivar Tommy Atkins responde por 80% dos plantios de manga no Brasil em função de sua maior resistência a pragas e doenças, e por apresentar maior conservação pós-colheita (FONSECA *et al.*, 2006).

O aproveitamento de resíduos como matéria-prima para a produção de alimentos processados surge como uma alternativa para reduzir o desperdício de alimentos. Os resíduos, cascas de mangas, por exemplo, transformados em pós-alimentícios ou farinhas contribuem com a conservação do ambiente e possuem diversos componentes nutritivos, além de apresentarem efeitos benéficos à saúde e poderem ser utilizados como ingredientes na produção de diferentes produtos, como bebidas, sobremesas, biscoitos, massas e pães (CAVALCANTI *et al.*, 2010).

Sanjairaj, Iniyar e Goic (2012) afirmam que um dos desafios que a humanidade enfrenta atualmente é a procura pela redução de perdas de alimentos que ocorrem ao longo da produção, colheita, pós-colheita e comercialização, os autores citam a secagem como o método mais eficaz para que aconteça a diminuição dessa perda.

A secagem de produtos alimentícios pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção da umidade excessiva contida no interior do produto por meio de evaporação, causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção da qualidade durante o armazenamento por longos períodos de tempo (AFONSO JUNIOR & CORRÊA, 1999).

Diante do que foi abordado, o trabalho foi realizado com o objetivo de secar a casca da manga variedade Tommy Atkins, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) na Universidade Federal de Campina Grande, PB.

As mangas da variedade Tommy Atkins foram adquiridas no comércio local, em seu completo estágio de maturação 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. A casca foi fatiada originando formato de

placas planas retangulares 10 x 5 x 5 mm com teor de água inicial em torno de 85% base úmida.

A secagem da casca de manga foi realizada em estufa de circulação de ar por convecção. 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 Fick (Equação 1), Page (Equação 2) e Henderson & Pabis (Equação 3), foram ajustados aos dados experimentais da secagem da manga. As curvas de secagem obtidas experimentalmente foram ajustadas por meio do programa computacional Statistica versão 7.0 utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton.

$$RX = \frac{X_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef}}{4L^2} t\right] \quad (1)$$

$$RX = \exp(-kx t^n) \quad (2)$$

$$RX = a \times \exp(-kx t) \quad (3)$$

Em que: RX - razão de teor de água (adimensional); k , n , a , c - constantes do modelo; L - Dimensão característica meia espessura da placa (m); D_{ef} - Difusividade efetiva (m^2/s) e t - tempo (minutos).

Para o cálculo da energia de ativação da cinética de secagem das mangas utilizou-se a equação de Arrhenius (Equação 4). Através dela, é possível verificar a relação entre a difusividade efetiva e a temperatura na cinética de secagem.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

Em que: D_0 : fator pré-exponencial, $m^2 \cdot s^{-1}$; E_a : energia de ativação, $J \cdot mol^{-1}$; R : constante universal dos gases, $8,314 J \cdot mol^{-1} K^{-1}$; T : temperatura de secagem, K .

Para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais os critérios usados foram o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observam-se, na Figura 01, as curvas de secagem da manga Tommy Atkins, aplicadas aos modelos matemáticos de Fick, Page e Henderson & Pabis nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente.

As curvas de secagem foram obtidas de forma adimensional do conteúdo de teor de água, em função do tempo, as quais podem observar o decréscimo do tempo de secagem com o aumento da temperatura do ar até que o

equilíbrio seja atingindo. Segundo Sousa et al., (2016) a perda do teor de água do produto ocorre com mais intensidade na temperatura mais elevada, reduzindo assim

o tempo de secagem e tornando a curva de secagem mais acentuada.

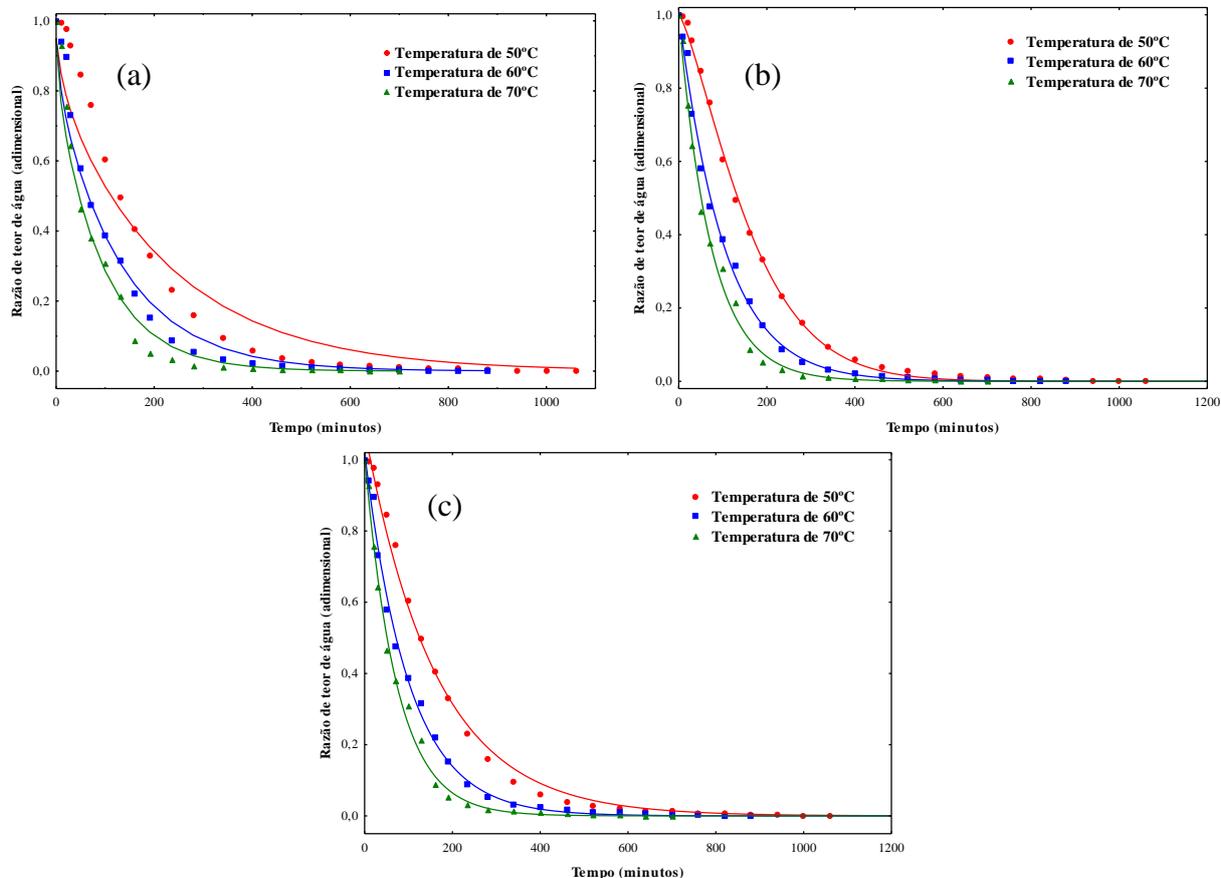


Figura 01- Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da manga Tommy Atkins pela equação de Fick (a), Page (b) e Henderson & Pabis (c), obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Na Tabela 01 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da manga Tommy Atkins nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM).

Observa-se, pela análise da Tabela 01, que o coeficiente de difusividade efetiva (Def) na secagem da manga Tommy Atkins, estimado pelo modelo Fick, aumentou com a elevação da temperatura, isto ocorre, pois, a difusividade representa a velocidade com que a água migra do interior para a superfície do produto. A magnitude do coeficiente de difusividade efetiva obtidos nesta pesquisa variaram entre $6,6611 \times 10^{-10}$ a $16,383 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para o teor de água inicial analisado. Segundo Flores et al., (2012) os valores do coeficiente de difusividade para produtos alimentícios encontram-se dentro de uma faixa de 10^{-9} a $10^{-11} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. A energia de ativação para difusão líquida para manga Tommy Atkins foi de 38,061 kJ mol⁻¹. Segundo Zogzas et al. (1996) para os produtos agrícolas a energia de ativação

deve estar entre 12,7 a 110 kJ mol⁻¹. Logo, o valor encontrado no trabalho de pesquisa apresenta-se dentro da faixa.

Corrêa et al. (2010), afirmou que nos processos de secagem, quanto menor for a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto. Ou seja, menor será a energia necessária para que a transformação física ocorra, nesse caso, a transformação da água livre líquida em vapor (secagem).

Dentre os modelos avaliados e conforme os resultados obtidos para os coeficientes de determinação ajustado, a equação de Page seguida pela equação de Henderson & Pabis foram as que melhor representaram os dados experimentais para descrever o processo de secagem da manga Tommy Atkins para a faixa de temperatura (50 a 70 °C) estudada, o que também foi observado por André et al., (2014) na análise e comparação dos modelos matemáticos da secagem do resíduo de manga Tommy Atkins.

Tabela 01. Parâmetros obtidos para equações de Fick, Page e Henderson & Pabis, por regressão não linear da secagem da manga Tommy Atkins nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros		R ²	DQM
		Def (10 ⁻¹⁰ m ² s ⁻¹)			
Fick	50	6,6611		93,83%	0,1200
	60	8,9690		97,07%	0,0948
	70	16,383		99,36%	0,0832
		K	n		
Page	50	0,001014	1,332293	99,89%	0,0730
	60	0,008662	1,024228	99,59%	0,0539
	70	0,024198	0,853738	99,44%	0,0357
		K	a		
Henderson & Pabis	50	1,084587	0,006180	99,42%	0,0378
	60	0,009947	1,019891	99,62%	0,0356
	70	0,013740	1,009233	99,45%	0,0263

Constata-se também que 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. Melo (2008), ao estudar a secagem da polpa do fruto do mandacaru, verificaram para o modelo de Page que o parâmetro k aumentou e o n diminuiu com o aumento da temperatura, de acordo com Goneli et al. (2009) isto representa o efeito das condições externas de secagem, a qual tende a aumentar com a elevação da temperatura do ar de secagem.

Os modelos de Page e Henderson & Pabis, apresentaram valores elevados para o coeficiente de determinação, acima de 99,42%, considerando o maior coeficiente de determinação de 99,89% para o modelo de Page a temperatura de secagem de 50°C. O desvio quadrático médio (DQM) apresentou-se valores superiores a 0,0263 e inferiores a 0,073, o modelo matemático que apresentou menor valor de DQM foi o de Henderson & Pabis para secagem de 70°C.

CONCLUSÃO

O coeficiente de difusividade efetiva na secagem da manga estimado pelo modelo Fick, aumentou com a elevação da temperatura;

Os valores do coeficiente de difusividade efetiva obtidos nesta pesquisa variaram entre 6,6611x10⁻¹⁰ a 16,383x10⁻¹⁰ m². s⁻¹ para o teor de água inicial;

A energia de ativação para difusão líquida para manga Tommy Atkins foi de 38,061 kJ mol⁻¹;

Dentre os modelos avaliados os coeficientes de determinação ajustado a equação de Page seguida pela equação de Henderson & Pabis foram os que melhor representaram os dados experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de

secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 3.3 (1999): 349-353.

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**, Pombal - PB, v 9, n. 5, p. 01 - 06, dez., 2014

CAVALCANTI, M.A.; SELVAM, M. M.; VIEIRA, R. R. M.; COLOMBO, C. R.; QUEIROZ, V. T. de M. Pesquisa e desenvolvimento de produtos usando resíduos de frutas regionais: inovação e integração no mercado competitivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: MATURIDADE E DESAFIOS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: COMPETITIVIDADE DAS EMPRESAS, CONDIÇÕES DE TRABALHO, MEIO AMBIENTE, 30. Anais...São Carlos, SP, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: FAOSTAT Database Gateway-FAO. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em 7 de Agosto de 2017.

FONSECA, N.; CUNHA, G.A.P.; NASCIMENTO, A.S.; SANTOS FILHO, H.P. A cultura da manga. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 73p.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; Oliveira, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, n.11, p.64-73, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola estadual: lavoura permanente 2013. Disponível em:

<ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2013/pam2013.pdf>. Acesso em 7 de Agosto de 2017.

MELO, K. S. **Secagem da polpa do mandacaru**. 2008. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

PEREA-FLORESA, M.J.; GARIBAY-FEBLESB V.; CHANONA-PÉREZA J.J.; CALDERÓN-DOMÍNGUEZA, G.; MÉNDEZ-MÉNDEZC, J.V.; PALACIOS-GONZÁLEZB, E.; GUTIÉRREZ-LÓPEZA, G.F. Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. **Industrial Crops and Products**, v. 38, p. 64– 71, 2012.

SANJAJRAJ, V.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar drying technologies. **Revista de Pesquisa e Extensão em Saúde**, v. 4, n. 1, p. 25-38, 20012.

STATSOFT, STATISTICA for Windows version 7.0. Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2007.

SOUSA, R. V.; CAVALCANTI MATA, M.E. R.M.; DUARTE, M. E. M. ; ALMEIDA, R.D.; ROSA, M.E.C. Análise da cinética de secagem em camada fina do arroz vermelho em casca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.18, n. Especial, p. 517-529, 2016.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOSKOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, New York, v.14, n.10, p. 2225-2253, 1996.