

Estudo da secagem do bagaço de maracujá em secador rotatório: Aplicação de modelos semiempíricos

Drying study of passion fruit bagasse in a rotary dryer in: Application of semiempirical models

Briggida Dantas de Moura¹; Francisco Canindé Morais Filho²; Edson Leandro de Oliveira³; Jackson Araújo de Oliveira³.

Resumo: Atualmente a indústria de processamento de polpas de frutas tem como meta encontrar formas de aproveitamento para os seus resíduos, transformando-os em benefícios financeiros e minimizando impactos ambientais. Um dos processos alternativos que pode ser utilizado para tal finalidade é a secagem. Com base em suas características, o resíduo de maracujá pode ser estudado, no enriquecimento de produtos alimentícios como: iogurte e barra de cereal; ração animal; adubo ou como matéria-prima para a extração de pectina, usada para aumentar a consistência do produto, que se apresenta em considerável quantidade principalmente no mesocarpo. O presente trabalho tem como objetivo estudar a cinética de secagem do resíduo de maracujá em secador rotatório de leito fixo, nas temperaturas de 75°C e 95°C. Como o secador rotatório opera em fluxo contínuo foi necessário adaptar o sistema para leito fixo com intuito de determinar as taxas de secagem. Os modelos estudados são os de Lewis, Page, Page Modificado e Henderson e Pabis onde todos mostraram ótimo ajuste com os dados experimentais.

Palavras-chaves: resíduos, cinética de secagem, modelagem.

Abstract: Presently, the industry of fruit pulp processing aims to find ways of harnessing their residues, turning them into financial benefits and minimizing environmental impacts. One of the useful alternative methods for this purpose is the drying. Based on their characteristics, the residue of passion fruit can be studied in the enrichment of food products such as: yogurt and cereal bar, animal feed, fertilizer or as raw material for the extraction of pectin, used to increase the product consistency, which is present in considerable amount, especially in the mesocarp. The present work aims to study the drying kinetics of the passion fruit residue in a fixed bed rotary dryer, at temperatures of 75 °C and 95 °C. As the rotary dryer operates in continuous flow, it was necessary adapting the system to fixed bed with the intention of determining the drying rates. The studied models are Lewis, Page, Modified Page and Henderson & Pabis, which all showed good fit with the experimental data.

Keywords: waste, drying kinetics, modeling.

*autor para correspondência

Recebido para publicação em 28/10/2013; aprovado em 30/03/2014

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/UFRN, Natal RN, E-mail: briggidadantas@yahoo.com.br

²Mestre em Engenharia de Processo pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Química/UFRN, Natal RN, E-mail: fcmfilho@gmail.com

³ Prof. D. Sc. do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN, Natal RN E-mail: edson@eq.ufm.br

³ Prof. D. Sc. do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN, Natal RN E-mail: jackson@eq.ufm.br

INTRODUÇÃO

As frutas têm grande importância no contexto mundial, no que se refere aos aspectos social, econômico e alimentar. A fruticultura possibilita a exploração intensiva de áreas produtivas, tornando-as lucrativas. Além disso, absorve bastante mão-de-obra, constituindo-se numa fonte geradora de empregos não somente na produção, como também no armazenamento, no processamento e na comercialização de frutas (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

O bagaço ou rejeito de frutas é a casca e a camada que fica entre a casca e a polpa. Não é precisamente a parte mais saborosa e costuma-se ser descartada pela indústria de processamento de polpa, mas possui a maior fonte de vitaminas, minerais e compostos diferenciados para qualificar como alimento funcional (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

Segundo informação da década passada, o Brasil é considerado o maior produtor mundial de maracujá, com uma área de plantio em torno de 33 mil hectares, sobretudo nos estados da Bahia, Sergipe e São Paulo, apresentando 90 % da produção mundial, seguido pelo Peru, Venezuela, África do Sul, Sri Lanka e Austrália (FERRARI et al., 2004).

O gênero *Passiflora* possui mais de 400 espécies, sendo aproximadamente 120 nativas do Brasil (BERNACCI et al., 2003). Muito embora, os cultivos no Brasil baseiam-se numa única espécie, o maracujá-amarelo ou azedo (*Passiflora edulis*), e representa mais de 95% dos pomares devido sua qualidade de frutos, eficácia, produtividade e rendimento em suco (MELETTI e BRÜCKNER, 2001).

Um dos subprodutos da indústria alimentícia de extração de suco de maracujá com menor valor agregado é o bagaço do maracujá úmido, composto principalmente pelo flavedo (parte com coloração) e albedo (parte branca). Esse subproduto é muitas vezes descartado na atmosfera contribuindo na poluição ambiental. Segundo a Associação das

Indústrias processadoras de Frutos Tropicais (ASTN) em 2000, 127,7 mil toneladas do fruto foram processadas. Isso gerou 51 mil toneladas de casca fresca, que desidratadas gerariam 10,2 mil toneladas de casca seca. Então, a secagem do bagaço do maracujá proporciona uma redução de volume e peso, facilitando o armazenamento e transporte deste material, agregando valor e desenvolvendo outras aplicações a este resíduo industrial de baixo custo (DOYMAZ, 2005). A tecnologia de alimentos tem, entre seus elementos de estudo, o aumento da vida útil do produto alimentício convertendo-os em produtos mais estáveis que possam ser estocados por longos períodos, tendo como técnicas mais importantes o congelamento e a secagem.

A secagem de materiais sólidos envolve simultaneamente a transferência de calor e de massa (MWITHIGA e OLWAL, 2005; CORRÊA et al., 2006), e seu comportamento é caracterizado pela variação da umidade em função do tempo.

Através da secagem, é possível estudar o processo, ou seja, a cinética de secagem, onde se verifica o comportamento do material que está sendo seco, representado pelas curvas de secagem e a taxa de secagem. O comportamento da curva de secagem de um sólido úmido mediante um fluxo de ar a uma determinada temperatura é sempre o mesmo, segundo Foust et al. (1980). Já a curva da taxa de secagem é obtida derivando-se os dados de umidade em função do tempo de secagem.

O estudo cinético da secagem de vários produtos também pode ser descrito por modelos matemáticos semiempíricos ou puramente empíricos (MADAMBA, 2003). Os modelos semiempíricos se baseiam na analogia com a Lei de Newton para o resfriamento, aplicada à transferência de massa, enquanto que, os modelos empíricos apresentam uma relação entre teor de umidade e o tempo de secagem e consideram como mecanismo principal a difusão

baseada na segunda Lei de Fick (ZANOELO et al., 2007).

Muitos pesquisadores da área de secagem têm utilizado modelos fundamentados na teoria de difusão de líquido. Algumas considerações devem ser realizadas para a aplicação desses modelos, como por exemplo: despreza-se o encolhimento do material em processamento, efeitos de capilaridade e de transferência de calor e massa. Também se considera que o material e o ar de secagem entram instantaneamente em equilíbrio térmico.

Os modelos de Lewis, Page, Page modificado e Henderson e Pabis e outros têm sido largamente utilizados, principalmente com produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos e em algumas espécies de plantas. (PANCHATIYA et al., 2002 e SANTOS et al., 2010).

Este trabalho teve como objetivos: avaliar o comportamento da secagem convectiva do bagaço do maracujá-amarelo em duas diferentes temperaturas e velocidade do fluxo de ar constante; aplicar modelos semiempíricos da literatura aos dados experimentais; selecionar o modelo que melhor representa o comportamento dos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado no presente trabalho foi adquirido da indústria de processamento de polpa de fruta “Delícia da Fruta”, localizada no município de Natal/RN.

Os experimentos foram realizados, para o estudo cinético da secagem do resíduo de maracujá em leito fixo, no secador rotatório instalado no Laboratório de Energia Alternativa e Fenômenos de Transporte (LEAFT) do Departamento de Engenharia Química da UFRN. Com o objetivo de definir a cinética do processo da secagem, foi necessária uma adaptação no secador rotatório de fluxo contínuo (Figura 1) de modo a permitir um sistema em leito fixo. Para isto, foi construída uma célula metálica, com 13,7 cm de diâmetro e 1,5 cm de espessura, revestida por uma tela onde pudesse colocar o material a manter as condições operacionais da secagem, mostradas na Figura 2A e B.



Figura 1 - Configuração do Secador Rotatório



(a)



(b)

Figura 2 - Configuração da célula para o leito fixo (a) antes da secagem (b) em processo de secagem

Neste trabalho, foram realizados dois experimentos de secagem utilizando a célula de leito fixo nas condições operacionais de 1,5 cm de espessura e 170 g do resíduo de maracujá, vazão do ar de $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ e temperatura de 75°C e 95°C . A temperatura de entrada do ar de secagem era monitorada através de um termopar digital instalado na entrada do secador onde esta era mantida constante a um valor pré-estabelecido (set-point).

Para o levantamento das curvas cinética do processo, foram realizadas pesagens do material em processamento em função de tempo pré-estabelecidos onde este procedimento foi repetido até que o material, nessas condições estudadas, permanecesse com massa constante. Em seguida, a célula era colocada numa estufa com circulação de ar a 105°C por 24 h para determinar o teor de umidade final do material.

Os dados obtidos na secagem, em camada delgada, foram ajustados aos modelos

de Lewis, Page, Page modificado e Henderson e Pabis (H. P.) descritos nas Equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$MR = \exp(-kt) \quad (1)$$

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (2)$$

$$MR = (-kt)^n \quad (3)$$

$$MR = a \exp(-kt) \quad (4)$$

Onde:

MR: razão de umidade, adimensional;

k: constante de secagem, s⁻¹;

n, a: parâmetros de secagem, adimensional;

t: tempo, s.

Os parâmetros das equações citadas acima foram obtidos por análise de regressão não linear, utilizando-se o software STATISTICA 7.

Para ajuste dos modelos, foram utilizados o coeficiente de correlação (R²) e o parâmetro qui-quadrado reduzido (χ²) calculado pela Equação 5.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pred,i})^2}{N - n} \quad (5)$$

Onde:

MR_{exp,i} – valores experimentais da razão de umidade para a observação, i (adimensional);

MR_{pred,i} – valores preditos da razão de umidade para a observação, i (adimensional);

N – número de observações;

n – número de parâmetros no modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3 e 4 apresentam os dados experimentais da secagem do resíduo de maracujá, nas condições de temperatura 75°C e 95°C, respectivamente. As curvas são exibidas na forma adimensional, umidade final/umidade inicial (U_o/U_i) em função do tempo de secagem, para os dados experimentais e os modelos de Lewis, Page, Page modificado e Henderson e Pabis.

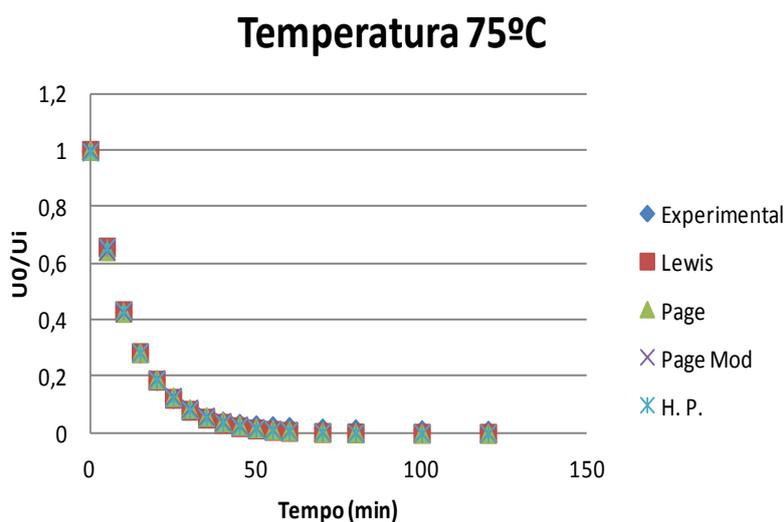


Figura 3 - Secagem do bagaço do maracujá à temperatura de 75°C

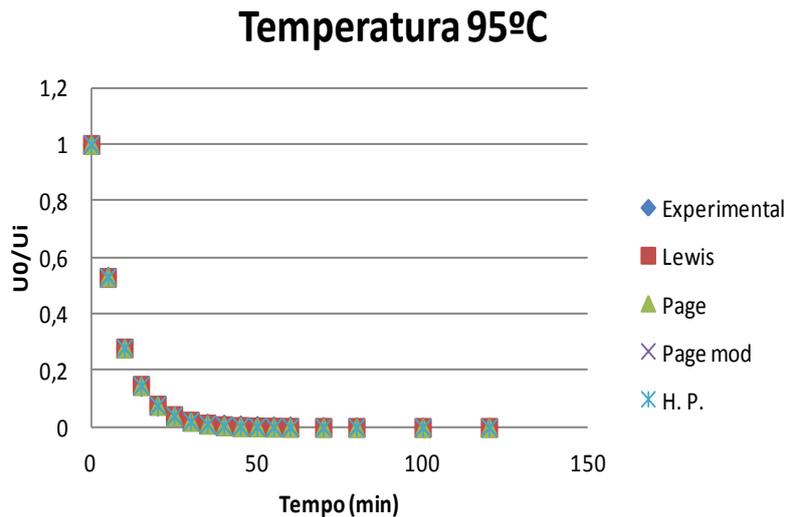


Figura 4 - Secagem do bagaço do maracujá à temperatura de 95°C

Analisando-se as Figuras 3 e 4, observa-se que ambas tem o mesmo comportamento cinético levando em consideração as condições operacionais utilizadas neste trabalho. Como o único parâmetro variável foi a temperatura, verifica-se que quanto maior a temperatura menor será o tempo de secagem, ou seja, o gráfico da Figura 4 mostra que no período de aproximadamente 25 minutos o resíduo de maracujá já atingiu a umidade constante, enquanto que neste mesmo período no gráfico da Figura 3 o processo continua em andamento. Da Figura 3 verifica-se que a umidade do resíduo de maracujá passa a ser constante em aproximadamente 50 minutos. Pode-se notar também que todo processo de secagem do bagaço de maracujá ocorre a taxa decrescente, não havendo período de taxa constante de secagem o está de acordo com FERREIRA et al. (2012) na secagem do bagaço de uva.

Verifica-se também que os modelos empíricos de Lewis, Page, Page modificado e Henderson e Pabis se ajustaram completamente aos experimentais nessas condições utilizadas.

Os parâmetros dos ajustes dos modelos aos dados de secagem são apresentados nas Tabelas 1 e 2, onde, a partir dos coeficientes de determinação (R^2 e χ^2) pode-se constatar que todos os modelos se ajustaram de forma equivalentes com ótimos ajustes.

Tabela 1 - Parâmetros dos Modelos à Temperatura 75°C

Modelos	Parâmetros			
	k	R^2	χ^2	
Lewis	0,083620	0,998394	0,000122	
Page	k	n	R^2	χ^2
	0,094317	0,955466	0,998720	0,000103
Page e Modificado	k	n	R^2	χ^2
	0,084489	0,955466	0,998727	0,000103
Henderson e Pabis	a	k	R^2	χ^2
	0,994452	0,083168	0,998425	0,000127

Tabela 2 - Parâmetros dos Modelos à Temperatura 95°C

Modelos	Parâmetros			
	k	R^2	χ^2	
Lewis	0,127003	0,999775	0,000016	
Page	k	n	R^2	χ^2
	0,123916	1,010609	0,999786	0,000016
Page e Modificado	k	n	R^2	χ^2
	0,126663	1,010609	0,999786	0,000016
Henderson e Pabis	a	k	R^2	χ^2
	1,001379	0,127158	0,999777	0,000017

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A secagem do bagaço de maracujá em camada fina em secador rotatório ocorreu predominantemente em período de taxa decrescente, não sendo observado período de taxa constante.

Em relação aos modelos estudados nesta pesquisa, observa-se a validade de todos e pode-se afirmar que os mesmos descrevem satisfatoriamente os dados experimentais.

Os resultados das Tabelas 1 e 2 mostram que quanto maior a temperatura de trabalho melhor será o comportamento cinético do processo de secagem para o bagaço de maracujá.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akpinar, E.K. Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants. **Journal of Food Engineering**, London, v.77, n.4, p.864-870, 2006.

Bernacci, L.C. **Passifloraceae**. In: Wanderley, M.G.L.; Shepherd, G.J.; Giuliatti, A.M.; Melhem, T.S. (Ed.). **Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo**. São Paulo: RiMa, FAPESP, 2003. v.3, p. 247-248.

Buckeridge, M.S.; Tiné, M.A.S. **Composição polissacarídica: Estrutura da parede celular e fibra alimentar**. In: Lajoto, F.M. et al. **Fibra dietética em Iberoamérica: tecnologia y salud: obtencion, caracterización, efecto fisiológico y aplicación em alimentos**. São Paulo: Varela, p.43-60, 2001.

Chitarra, M. I. F; Chitarra, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 1990.

Corrêa, P. C.; Ribeiro, D. M.; Resende, O.; Botelho, F. M. **Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.3, p.665-670, 2006.

Doymaz, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.1291-1297, 2005.

Ferrari, R. A.; Colussi, F.; Ayub, R. A. **Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá: aproveitamento das sementes**. Revista Brasileira de Fruticultura, 26(1), p. 101-102, 2004.

Ferreira, L. F. D.; Pirozi, M. R.; Ramos, A. M; Pereira, J. A. M. **Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado** - Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.6, p.855-862, jun. 2012

Foust, A. S., Wenzel, L. A.; Clump, C. W. **Principles of Unit Operations**, 2nd Ed., John Wiley & Sons Inc., 1980.

Machado, A. V.; Oliveira, E. L.; Santos. E. S.; Oliveira, J. A.; Freitas, L. M. **Avaliação de um secador solar sob convecção forçada para a secagem do pedúnculo de caju**. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.1, p.01 -07 janeiro/março de 2010.

Madamba, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. **Drying technology**, v.21, n.9, p.1759-1780, 2003.

Meletti, L.M.M.; Brückner, C.H. Melhoria Genética. In: Brückner, C.H.; Picanço, M.C. **Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. p. 345-385.

Mwithiga, G.; Olwal, J. O. The drying kinetics of kale (brassica oleracea) in a convective hot air dryer. **Journal of Food Engineering**, v.71, p.373-378, 2005.

Panchariya, P.C.; Popovic, D.; Sharma, A.L. Thin layer modelling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering** v.52, p. 349-357, 2002.

Ruggiero, C. (Coord.). **Maracujá para exportação: aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p.11-29, 1996.

Santos, C. T.; Bonomo, R. F.; Chaves, M. A.; Fontan, R. C. I.; Bonomo, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Journal Acta Scientiarum: Technology**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

Zanoelo, E. F.; Celso, G. M. D.; Kaskantzis. **Drying kinetics of mate leaves in a packed bed dryer**. *Byosystems Engineering*, v.96, n.4, p.487- 494, 2007.