

ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DE PEQUI

ÁUREA CRISTINA COSTA FREITAS¹, ANNA LETÍCIA MORON PEREIRA LEITE²,
ALEXANDRE GONÇALVES PORTO³, JESSIANA RODRIGUES MAGALHÃES⁴,
FABRÍCIO SCHWANZ DA SILVA⁵

¹Graduada em Engenharia de Alimentos – Universidade do Estado de Mato Grosso. Rua A, s/n° - Bairro São Raimundo - Cx. Postal 92 CEP:78390-000, (65) 33611413, Barra do Bugres – MT, Brasil. E-mail: eng.aurea@hotmail.com .

²Mestranda em Engenharia de Alimentos- UNICAMP, anna_mpl@hotmail.com

³Eng° Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Alimentos, UNEMAT/Barra do Bugres – MT, agporto@unemat.br

⁴Graduada em Engenharia de Alimentos – Universidade do Estado de Mato Grosso, jessianarmagalhães@hotmail.com

⁵ Eng° Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Alimentos, UNEMAT/Barra do Bugres – MT, fabricio@unemat.br

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro – SP, Brasil

RESUMO: O pequi é uma espécie nativa do cerrado, seu fruto possui sabor marcante e peculiar, que apesar de seu alto consumo, ainda não apresenta boa expansão comercial, pois atualmente apenas a polpa amarelada é aproveitada, e seus componentes (casca e amêndoa) são pouco explorados, gerando resíduos. Por ser um fruto sazonal, necessita de técnicas de processamento para que aumente sua disponibilidade no mercado, e principalmente mantenha suas características próximas ao *in natura*. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a cinética de secagem da casca, polpa e amêndoa do pequi, separadamente. O processo de secagem foi realizado nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, com velocidade de ar controlada em 1,5 m.s⁻¹. Os dados de razão de umidade foram ajustados aos modelos de Lewis, Mc Cormick, Page e Midilli e Kucuk, sendo Page e Midilli e Kucuk os modelos matemáticos que melhores se ajustaram para todas as amostras por conter menor número de parâmetros e possuir maior facilidade de aplicação. Os valores da difusividade efetiva de umidade variaram entre 2,179x10⁻⁷ e 2,282x10⁻⁷; 1,766x10⁻⁷ e 1,823x10⁻⁷ e 1,465x10⁻⁷ e 1,664x10⁻⁷ m²/s, aumentando com a elevação da temperatura e a energia de ativação variam entre 53,610 e 57,030 kJ/mol; 54,075 e 57,560 kJ/mol e 54,645 e 57,782 kJ/mol, para casca, polpa e amêndoa de pequi, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Desidratação, Difusividade efetiva de umidade e *Caryocar Brasiliense*.

ANALYSIS OF THE DRYING KINETICS OF PEQUI

ABSTRACT: The pequi tree is a native species of the Brazilian middle-west region, and its fruit has a different and pronounced flavor, that despite of its high consumption, it does not present commercial expansion, because nowadays only its yellowish pulp is utilized, and its other parts (peel and almond) are not processed. Being a seasonal fruit, its processing techniques still needs to be improved to have a better availability in the market, and mainly keep its own characteristics. Therefore, this research aimed to analyze the drying kinetics of peel, pulp and almond of pequi. The drying process was conducted under 40 to 60°C, with controlled speed of 1.5(m.s-1). The humidity ratio data were adjusted according to the mathematical models of Lewis, Mc Cormick, Page and Midilli and Kucuk, being Midilli and Kucuk and Page models with the best adjust to peel, pulp and almond of pequi. The values of effective water diffusivity ranged between 2.179x10-7 and 2.282x10-7; 1.766x10-7 and 1.823x10-7 and 1.465x10-7 and 1.664x10-7(m².s-1), and increased according with increase of the temperature, and the activation energy ranged between 53,610 and 57,030 kJ/mol; 54.075 and 57.560(kJ.mol-1) and 54.645 and 57.782(kJ.mol-1), for peel, pulp and almond of pequi.

KEYWORDS: Dehydration, Water diffusivity, *Caryocar Brasiliense*

INTRODUÇÃO: A polpa e amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense Camb*), são ricas em vitaminas e lipídios, o qual lhe confere grande valor nutritivo, seus constituintes predominantes são os lipídios, prevalecendo os ácidos graxos oleico e palmítico. Na polpa, o que se destaca é a presença de compostos fenólicos e carotenoides totais, os quais estão associados à prevenção de processos

oxidativos. Já a amêndoa possui um elevado teor de proteína (25,27%), porém essa concentração pode variar de acordo com o nível de maturação do fruto. A casca, que representa aproximadamente 62% de rendimento do fruto, possui alto teor de fibras alimentares (39,27%) sendo superior ao encontrado na polpa (10,02%). Porém, a casca não é devidamente aproveitada nas empresas processadoras da polpa, contribuindo assim com aumento de resíduos descartados ao meio ambiente (DAMIANE et al., 2013; LIMA et al., 2007; RABÊLO et al., 2008). A cinética de secagem, a qual mostra a rapidez com que o alimento perde umidade. Onde essa rapidez é controlada através das características da matriz do alimento e pelas variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010). Uma ferramenta utilizada para representar a cinética de secagem é a modelagem, a qual os modelos são utilizados para estimar o tempo de secagem de diferentes produtos através da obtenção das curvas durante o processo (MIDILLI et al., 2002). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a cinética de secagem da casca, polpa e amêndoa do pequi.

MATERIAL E MÉTODOS: A matéria prima utilizada foi o pequi, produzidas e comercializadas no município de Barra do Bugres. Os frutos foram recepcionados, selecionados e devidamente higienizados (Aquino et al., 2009). Em seguida as cascas foram separadas do mesocarpo interno, passaram por um processo de branqueamento (COUTO, 2007). A polpa foi retirada manualmente e devidamente higienizada. Por fim as amêndoas foram retiradas realizando um corte no sentido longitudinal, conforme a metodologia de Rabêlo (2008).

O processo de secagem foi realizado entre a casa, polpa e amêndoa, separadamente, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e com velocidade do ar de 1,5m.s⁻¹, em um secador descontínuo de bandejas em escala de bancada. As amostras foram retiradas do equipamento para a realização das medidas das massas em balança eletrônica semi-analítica OHAUS Modelo AR3130 com precisão de 0,01g. A verificação do peso das amostras referente ao tempo de secagem e o cálculo da razão de umidade foi realizada conforme Freitas (2014).

Na Tabela 1 estão representados os modelos utilizados neste trabalho para prever o fenômeno da secagem de pequi. Tais modelos foram selecionados devido à grande utilização para descrever a cinética de secagem de produtos de origem vegetal, conforme encontrado na literatura (DANTAS, 2007).

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento de secagem para os diferentes produtos.

Designação do Modelo	Modelo	
Lewis	$RU = \exp(-kt)$	(1)
Mc Cormick	$RU = a \exp(-kt)$	(2)
Midilli e Kucuk	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$	(3)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	(4)

RU – razão de umidade do produto; t – tempo de secagem, k – coeficiente de secagem; a, b, c, n – constantes dos modelos.

Os valores da constante de secagem (k) foram calculados a partir dos coeficientes angulares determinados pela regressão não linear dos dados do adimensional de água livre em função do tempo. Para o ajuste dos modelos, foram realizadas análises de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton. O grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R²) e o erro médio estimado (SE).

Levando em consideração as condições do material em análise, os valores da difusividade efetiva média de umidade foram determinados através da solução analítica da lei de Fick para a difusão de água líquida em um sólido, conforme a Equação 6. A energia de ativação (E_a) foi determinada através da dependência da difusividade efetiva (D_{ef}) com a temperatura analisada pela equação do tipo Arrhenius.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A razão de umidade (RU) tem fundamental importância durante o processo de secagem para descrever diferentes modelos matemáticos. Sendo assim as curvas de razão de umidade em função do tempo são apresentadas na Figura 1.

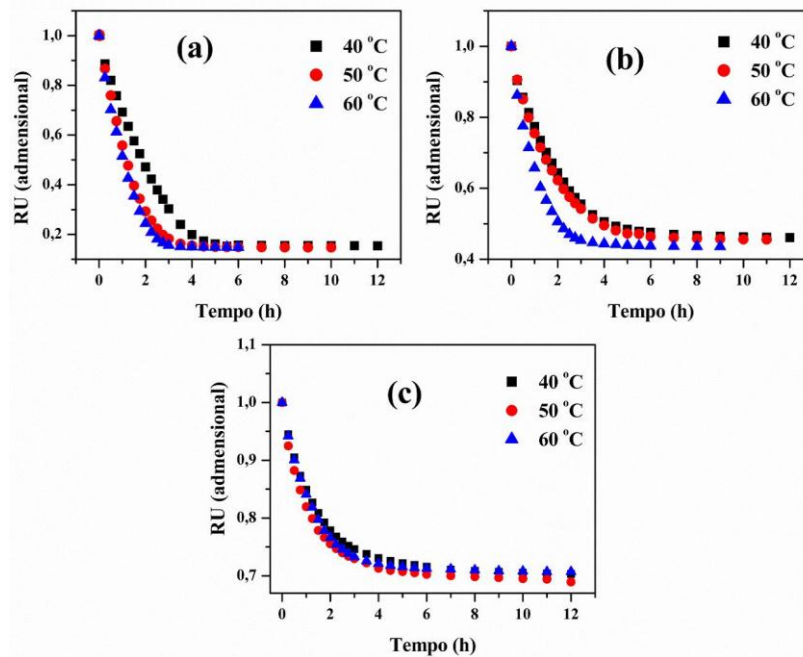


FIGURA 1. Curvas de razão de umidade (RU) em função do tempo para secagem do pequi a) casca, b) polpa e c) amêndoa.

Na Figura 1, pode-se visualizar o efeito da influência da temperatura na secagem do pequi, pois quanto maior a temperatura aplicada menor é o tempo no processo de secagem. A umidade de equilíbrio das amostras diminuiu conforme a temperatura de secagem, e consequentemente o tempo, conforme observado na Tabela 3. Tal fato foi observado por Rabêlo (2007) quando estudou a avaliação da secagem, torrefação e estabilidade da castanha de pequi e Mariano (2008) ao realizar extração do óleo da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) por processos convencionais combinados com tecnologia enzimática.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) e os desvios padrões da estimativa (SE, em decimal) para os quatro modelos avaliados na secagem do pequi (casca, polpa e amêndoa) nas diferentes temperaturas adotadas no processo.

Todos os modelos matemáticos avaliados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) próximos de 1 e obteve um baixo erro médio estimado (SE), indicando dessa forma, uma representação satisfatória dos modelos matemáticos para o processo de secagem (Resende et al. 2011).

A partir disso, pode-se dizer que os modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram os modelos de Page e Midilli e Kucuk. Na Tabela 8 encontram-se os valores das constantes (k, n, a e b), da difusividade de umidade efetiva e da energia de ativação do modelo.

Os valores da constante de secagem (k) e da difusividade de umidade efetiva (Def) apresentaram uma tendência diretamente proporcional em relação à temperatura, pois quanto maior a temperatura menor o valor de k. Conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 2. Valores das constantes (k, n, a e b), da difusividade de umidade efetiva (Def) e da energia de ativação (Ea) dos Modelos Page e Midilli e Kucuk.

Amostras	Page					Midilli e Kucuk				
	k	n	Def 10^{-7} ($m.s^{-2}$)	Ea ($kJ.mol^{-1}$)	a	k	n	b 10^{-3}	Def 10^{-7} ($m.s^{-2}$)	Ea ($kJ.mol^{-1}$)
AM 40°C	0,391	0,813	1,465	54,645	0,978	0,373	0,819	-0,680	0,673	56,67
AM 50°C	0,712	0,816	1,471	56,379	1,010	0,721	0,821	0,830	1,300	56,71
AM 60°C	0,806	0,924	1,664	57,782	0,995	0,801	0,934	0,374	1,44	58,18
PO 40°C	0,582	1,012	1,776	54,075	0,972	0,548	1,051	-0,297	0,988	55,67
PO 50°C	0,677	0,981	1,803	55,887	0,986	0,660	0,993	-0,490	1,190	56,95
PO 60°C	0,987	1,001	1,823	57,560	0,988	0,970	1,012	-0,418	1,750	57,65
CA 40°C	0,432	1,209	2,179	53,610	0,962	0,388	1,283	-0,546	0,699	56,57
CA50°C	0,708	1,234	2,224	55,267	0,982	0,684	1,265	-0,270	1,230	56,85
CA 60°C	0,875	1,211	2,282	57,030	0,973	0,833	1,246	-1,800	1,500	58,07

Onde: AM: Amêndoa; PO: Polpa e CA: Casca.

CONCLUSÃO: Na cinética de secagem a temperatura influenciou na umidade de equilíbrio, sendo que quanto maior a temperatura, menor será a atividade de água existente no produto. A constante k e os parâmetros Def e Ea apresentam uma tendência diretamente proporcional à temperatura. Dentre os modelos matemáticos propostos, o Page e o de Midilli e Kucuk podem representar a cinética de secagem da polpa, casca e amêndoa de pequi, porém o segundo modelo foi o escolhido, devido ao maior número de parâmetros e facilidade na aplicação.

REFERÊNCIA

- AQUINO, L. P. et al., Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na qualidade do óleo extraído. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29 n. 3, p. 354-357, abr.-jun. 2009.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina-DF, p.51, Embrapa Cerrados, 2010.
- COUTO, E. M. **Utilização da farinha de casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na elaboração de pão de forma**. 2007. 107f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- DAMIANE, C. et al. Perfil de ácidos graxos e fatores antinutricionais de amêndoas de pequi crua e torrada. **Revista Pesq. Agropec. Trop., Goiânia**, v. 43, n. 1, p. 71-78, 2013.
- DANTAS, H. J. **Secagem Solar e Convencional de Amêndoas de Jaca**. 2007. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
- FREITAS, A. C. C. **Caracterização Físico-Química e Análise da Cinética de Secagem de Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb)**. 2014. XXf. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Arquitetura e Engenharia, Universidade do Estado de Mato Grosso, Barra do Bugres, 2014.
- GONELI, A. L. D. Dinâmica da variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade das sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento sob condições controladas. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 188p., 2008.
- LIMA, A. et al. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*caryocar brasiliense*, camb.). **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 3, p. 695-698, 2007.
- LIMA, E. E.de. **Produção e armazenamento da farinha de facheiro**. 2006. 149p. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – Paraíba, 2006.
- MARIANO, R. G. B. **Extração do óleo da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) por processos convencionais combinados com tecnologia enzimática**. 2008. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2008.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503–1513, 2002.
- RABÊLO, A. M. S. **Avaliação da secagem, torrefação e estabilidade da castanha de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb)**. 2007. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos), Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
- RABÊLO, A. M. S. et al. Extração, secagem e torrefação da amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 868-871, out.- dez., 2008.
- RESENDE, O. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 31, n. 6, p. 1123-1135, 2011.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. et al. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n.2, p. 308-312, abr./jun. 2011.
- ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.