

CINÉTICA DE SECAGEM DE CASCAS DE ABACAXI

NÍVIA BARREIRO¹, MÁRCIA ALVES CHAVES²; CAROLINA CASTILHO GARCIA^{3*}

¹Formanda em Engenharia de Alimentos, UTFPR, Medianeira-PR, ni.barreiro@hotmail.com

²Doutoranda em Ciência de Alimentos, UEM, Maringá-PR, marcia_alves_chaves@hotmail.com

³Dr^a. em Engenharia de Alimentos, Prof^a. Adjunta da UTFPR, Medianeira-PR, carolinacgarcia@utfpr.edu.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Atualmente há a preocupação com a minimização dos resíduos agroindustriais. Os resíduos do beneficiamento do abacaxi correspondem a aproximadamente 65 a 70% do fruto. A casca do abacaxi é um resíduo industrial e apresenta potencial para aplicação como enriquecedor da dieta alimentar, por apresentar proteínas, lipídios e fibras. Assim, objetivo do presente trabalho foi avaliar a cinética de secagem das cascas de abacaxi, visando seu aproveitamento como enriquecedor da dieta alimentar, na forma de farinha, por exemplo. Fatias de casca de abacaxi (6 x 2 x 0,1 cm) foram, então, secadas a 70 °C por 340 min, sendo a secagem acompanhada através de pesagens sucessivas das amostras. Para a modelagem da secagem da casca de abacaxi, os dados experimentais foram ajustados à lei de Fick, permitindo o cálculo do coeficiente de difusão da água durante a secagem, e aos modelos empíricos de Page e Henderson & Pabis. Verificou-se que dentre os modelos propostos, o de Fick foi o que melhor representou a secagem de cascas de abacaxi, uma vez que o coeficiente de determinação foi de 0,98 e que o erro médio relativo foi o menor dentre os modelos avaliados. O coeficiente de difusão efetivo da água durante a secagem das cascas de abacaxi foi de $3,76 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVE: *Ananas comosus* (L.) Merrill; resíduo agroindustrial; cinética de secagem.

DRYNG KINETICS OF PINEAPPLE PEELS

ABSTRACT: Nowadays, minimizing the agroindustrial waste is a concern. The wastes of pineapple processing are approximately 65 to 70% of the fruit. The pineapple peel is an industrial waste and presents potential to enriching the diet because it presents proteins, lipids and fibers. So, the aim of the present work was to evaluate the drying kinetic of pineapple peel, in order to enriching the diet producing a flour, for example. Then, slices of pineapple peel (6 x 2 x 0.1 cm) were dried at 70 °C for 5 h and 20 min, and the drying were followed through successive weighings of the samples. In order to model the drying of pineapple peel, the experimental data were adjusted to the Fick's Law, allowing determining the diffusion coefficient of water during the drying, and to the empirical models of Page and Henderson & Pabis. It was verified that within the purposed models, Fick was the one that better represented the drying of pineapple peels, since the determination coefficient was 0.98 and the average mean error was the smaller within the evaluated models. The diffusion coefficient of water during the drying of pineapple peels was $3.76 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

KEYWORDS: *Ananas comosus* (L.) Merrill; agroindustrial waste; drying kinetic.

INTRODUÇÃO

O abacaxi é uma fruta tropical bastante apreciada no país e que apresenta disponibilidade o ano todo. O Brasil é o maior produtor de abacaxi da América do Sul. Entre os principais Estados produtores, estão o Pará (produção de 320.478.000 frutos), a Paraíba (produção de 285.715.000 frutos) e Minas Gerais (produção de 239.565.000 frutos) (IBGE, 2013).

O processamento de frutas visando a produção de sucos e polpas gerou, em 2008, cerca de 40% dos resíduos agroindustriais, compostos de restos de polpas, sementes, caroços, cascas, etc. (Portes, 2008). Segundo Lousada Júnior et al. (2006), o beneficiamento do abacaxi gera entre 65 e 75% de resíduos.

Por outro lado, Gondim et al. (2005) apontam que as cascas das frutas apresentam elevados teores de nutrientes e, portanto, deveriam ser utilizadas na manufatura de alimentos (Carvalho, 2008; Paiva, 2008; Borges, 2004), transformando-os em benefícios financeiros e minimizando impactos ambientais. Segundo Carvalho (2008) a casca do abacaxi apresenta 4,5% de proteína, 0,5% de lipídios, 3,1% de fibra bruta e 4,8% de cinzas.

Segundo Matias et al. (2005) e Abud e Narain (2009), farinhas obtidas de resíduos agroindustriais podem ser utilizadas como ingrediente alimentar para incorporação em alimentos, como substituto parcial à farinha de trigo. Para a obtenção de farinhas de resíduos agroindustriais, a secagem destaca-se dentre as opções tecnológicas.

A secagem é uma operação unitária largamente utilizada na indústria de alimentos por reduzir o teor de água livre do alimento, minimizando o desenvolvimento de micro-organismos e a ocorrência de reações químicas e bioquímicas, que resultam em perda de sua qualidade. Além disso, o custo de transporte dos produtos secos é reduzido, em função da redução do seu volume, resultado da remoção da água (Garcia, 2012).

O estudo da cinética de secagem e sua modelagem são de fundamental importância para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos (Sousa et al., 2011; Corrêa et al., 2010).

Assim, visando a minimização e aproveitamento do resíduo agroindustrial casca de abacaxi, objetivou-se no presente trabalho estudar a cinética de secagem da mesma, a qual apresenta potencial de aplicação em formulações de alimentos, tais como na forma de farinha.

MATERIAIS E MÉTODOS

Em setembro de 2015, foram adquiridos no comércio local da cidade de Medianeira – PR abacaxis da variedade Smooth Cayenne (*Ananas comosus* L. Merrill). Os abacaxis foram adequadamente higienizados e descascados cuidadosamente, de maneira que a espessura das cascas resultou em aproximadamente 1 mm. As cascas foram cortadas manualmente em fatias de 6 x 2 cm e armazenadas em câmara de refrigeração a 7 ± 2 °C, por não mais que 48 h, até o momento da secagem.

A secagem foi realizada em estufa com circulação natural de ar (Q314M, Quimis) à 70 °C por 340 minutos sendo efetuadas nesse intervalo pesagens sucessivas das amostras (a cada 20 min nos primeiros 100 min de processo, a cada 30 min até completar 210 min de secagem e a cada 40 min até completar o tempo total de secagem). A umidade de equilíbrio das amostras foi determinada por método dinâmico, realizando a secagem das fatias de casca de abacaxi por 465 min.

A modelagem da secagem foi realizada com base na segunda Lei de Fick (Equação 1), utilizando o primeiro termo da solução integrada de Crank (1975) para placa infinita (Equação 2).

$$\frac{dX}{dt} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$X = \frac{\bar{X}_t - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n^2} \exp\left[-2n^2 \frac{D_{ef} t}{z^2}\right] \quad (2)$$

Em que: X representa o adimensional de umidade; X é a umidade (kg de água/kg de sólidos secos), z é a meia espessura da placa (m), t é o tempo (s); D_{ef} é o coeficiente de difusão efetivo da água (m^2/s) sobre as condições de secagem testadas; sobrescrito *eq* indica equilíbrio e o θ .

A Equação 2 foi linearizada e ajustada aos dados experimentais com o auxílio do software Excel (Office 2010), permitindo o cálculo do coeficiente de difusão efetivo da água (D_{ef}) das cascas de abacaxi durante o processo de secagem convectiva (Vieira et al., 2012).

Além da Lei de Fick, aos dados experimentais da secagem das cascas de abacaxi foram ajustados, ainda, dois modelos empíricos/semiempíricos, frequentemente utilizados na representação da secagem (Sousa et al., 2011; Corrêa et al., 2010), os quais são apresentados na Tabela 1. Para esses ajustes foi utilizado o software Statística versão 7.0.

Tabela 1. Modelos matemáticos empíricos/semiempíricos utilizados para representar a secagem das cascas de abacaxi.

Modelos	
Page	$X = \frac{\bar{X}_{(t)} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = ae^{-kt} \quad (3)$
Henderson & Pabis	$X = \frac{\bar{X}_{(t)} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = e^{-kt^n} \quad (4)$

Em que: a e n são coeficientes dos modelos propostos; k é a constante de secagem (s^{-1}).

O ajuste de cada modelo aos dados experimentais de secagem foi avaliado através da magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo (P), o qual foi calculado através da Equação 5.

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|x^{calc} - x^{exp}|}{x^{exp}} \quad (5)$$

em que: x^{exp} representa os dados experimentais; x^{calc} representa os dados calculados segundo os modelos propostos (Equações 2 linearizada, 3 e 4); N representa o número de observações experimentais.

A umidade das amostras foi determinada em triplicata em estufa a 105 °C até peso constante; a atividade de água, em triplicata, em equipamento medidor de atividade de água (Aqualab 4TEV, Decagon Devices, EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As umidades e as atividades de água iniciais e após a secagem das cascas de abacaxi, bem como sua umidade e atividade de água de equilíbrio com o ar de secagem são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Teores de umidade (% base úmida) e atividades de água iniciais e após a secagem das cascas de abacaxi e umidade (% base úmida) e atividade de água de equilíbrio das amostras com o ar de secagem.

	Antes da secagem	Após a secagem	No equilíbrio
U	81,16 ± 5,27	18,67 ± 0,23	7,26 ± 0,27
a_w	0,9832 ± 0,0026	0,5788 ± 0,0885	0,3530 ± 0,0363

* U representa o teor de umidade das amostras, em base úmida.

Verificou-se na Tabela 2 que a redução na umidade das amostras, resultou na redução de sua atividade de água, que representa o conteúdo de água livre de um alimento, fato esperado, já que o objetivo da secagem é a redução do teor de água de um produto. Após a secagem das cascas de abacaxi, verificou-se que a atividade foi de 0,5788, comprovando a eficácia da secagem na redução do teor de água livre das amostras. É fato que o crescimento de micro-organismos é inibido em produtos com atividades de água menores que 0,6 (Bobbio; Bobbio, 2001). Logo, se adequadamente armazenada, a farinha obtida a partir das cascas secas será segura para consumo em relação ao critério microbiológico.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros dos modelos matemáticos propostos para descrever a secagem das cascas de abacaxi (Equações 2 linearizada, 3 e 4), juntamente com os parâmetros estatísticos utilizados para avaliar seu ajuste aos dados experimentais: o coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio relativo (P).

Tabela 3. Parâmetros dos modelos matemáticos utilizados para descrever a secagem da casca do abacaxi e parâmetros estatísticos de ajuste dos modelos.

Modelo	D_{ef}	k	A	n	R^2	P
Fick	3,60 ± 0,09	-	-	-	0,981	21,62
Page	-	0,016 ± 0,003	-	0,876 ± 0,036	0,994	91,66

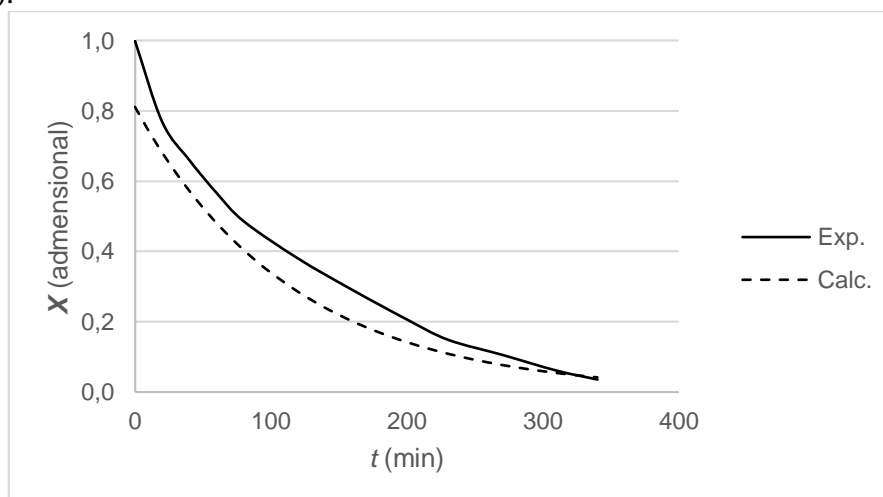
D_{ef} representa o coeficiente de difusão da água durante a secagem das cascas de abacaxi multiplicado por 10^{12} , em m^2/s ; k é a constante de secagem, em min^{-1} ; a e n são constantes dos modelos empíricos/semiempíricos; R^2 representa o coeficiente de determinação; P é o erro relativo médio em %.

A difusividade da água durante a secagem das cascas de abacaxi foram da ordem de 10^{-12} . Menezes et al. (2013) e Castiglioni et al. (2013) avaliaram a cinética de secagem convectiva dos resíduos agroindustriais bagaço do maracujá amarelo e massa fibrosa de mandioca, respectivamente, e encontraram difusividades mais elevadas (da ordem de $10^{-8} - 10^{-9}$) que as verificadas no presente trabalho. Porém, deve-se considerar que o equipamento utilizado no presente estudo utiliza a convecção natural para as transferências de calor e massa e não a convecção forçada. Dessa maneira, reduz-se os valores da difusividade da água durante a secagem devido à redução nas velocidades de transporte.

É possível verificar na Tabela 3 que a Lei de Fick foi o modelo que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, por apresentar R^2 maior que 0,98 e o menor valor de P . Os valores de P indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo e é desejado que seus valores sejam inferiores a 10% para que o modelo apresente um bom ajuste aos dados experimentais. Porém, valores maiores de 10% são verificados em trabalhos de secagem para valores experimentais de umidade em torno de 5%, uma vez que os desvios são aumentados quando o teor de água (valor experimental) é muito baixo (Molina et al., 2011), justificando os valores de P encontrados no presente trabalho.

Uma vez que a Lei de Fick apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, a Figura 1 compara os adimensionais de umidade (X) experimentais da secagem das cascas de abacaxi e os valores preditos pelo modelo de Fick (Equação 1).

Figura 1. Comparação entre os adimensionais de umidade (X) experimentais (linha cheia) da secagem das cascas de abacaxi e os valores preditos (linha tracejada) pela Lei de Fick (Equação 1).



Verificou-se, como esperado, decréscimo contínuo da umidade das cascas de abacaxi no decorrer da secagem. Ainda, é possível confirmar na Figura 1 que o modelo de Fick (linha tracejada) representou adequadamente os dados experimentais (linha cheia) de secagem, como verificado na Tabela 3.

CONCLUSÃO

A secagem das cascas de abacaxi por 340 min a 70 °C foi suficiente para garantir a seguridade microbiológica do produto seco obtido, o qual apresenta potencialidade de aplicação em formulações de alimentos, pelo seu alto valor nutritivo.

Dados de secagem são de interesse para a indústria, uma vez que possibilitam projetos e aperfeiçoamentos de equipamentos.

REFERÊNCIAS

- Abud, A.K.S.; Narain, N. Incorporação de farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. *Brazilian Journal of Food Technology*. v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.
- Bobbio, P.A.; Bobbio, F.O. *Química do Processamento de Alimentos*. 3ª ed. São Paulo: Editora Varela. 2001. 143p.
- Borges, C.D.; Chim J.F.; Leitão, A.M.; Pereira, E.; Luvielmo, M.M. Produção de suco de abacaxi obtido a partir dos resíduos da indústria conserveira. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*. v. 22, n.1, p. 25-34, 2004.
- Carvalho, M.G. Barras de cereais com amêndoas de chichá, sapucaia e castanha-do-gurguéia, complementadas com casca de abacaxi. 93f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.
- Castiglioni, G.L.; Silva, F.A.; Caliari, M.; Júnior, M.S.S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 17, n. 9, p. 987-994, 2013.
- Corrêa, P.C.; Oliveira, G.H.H.; Botelho, F.M.; Goneli, A.L.D.; Carvalho, F.M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*. v. 57, n.5, p. 595-601, set/out, 2010.
- Crank, J. *The Mathematics of Diffusion*. 2a ed. Trowbridge, Witshire: Redwood Books. 1975. 414p.
- Garcia, C.C. Avaliação da Desidratação de Mamão Utilizando Métodos Combinados. 200p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). São José do Rio Preto, 2012.
- Gondim, J.A.; Moura, M.F.; Dantas, A.; Medeiros, L.S. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 25, n. 4, p. 825-827, out/dez, 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal. Culturas Temporárias e Permanentes 2013*. v. 40. Rio de Janeiro, IBGE, 2013.
- Lousada Júnior, J.E.; Costa, J.M.C.; Neiva, J.N.M.; Rodriguez, N.M.R. Caracterização físico-química de subprodutos obtidos do processamento de frutas tropicais visando a seu aproveitamento na alimentação animal. *Revista Ciência Agronômica*. v.37, n.1, p.70-76, 2006.
- Matias, M.F.O.; Oliveira, E.L.; Margalhães, M.M.A.; Gerturdes, E. Use of fibers obtained from the cashew (*Anacardium occidentale* L) and guava (*Psidium guayava*) fruits for enrichment of food products. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v. 48, p. 143-150, 2005.
- Menezes, M.L.; Stroher, A.P.; Pereira, N.C.; Barros, S.T.D. Análise cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. *Engevista*. v. 15, n. 2, p. 176-186, ago/2013.
- Molina Filho, L.; Gonçalves, A.K.R.; Mauro, M.A.; Frascareli, E.C. Moisture sorption isotherms of fresh and blanched pumpkin (*Cucurbita moschata*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 31, n. 3, p. 714-722, jul.-set, 2011.
- Paiva, A.P; Barcelos, M.F.P. Estudos tecnológico, químico, físico-químico e sensorial de barras alimentícias elaboradas com subprodutos e resíduos agroindustriais. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2008.
- Portes, L. Pela qualidade das polpas. *Frutas e Derivados*. ano 03, ed. 09, p. 26-29, mar., 2008.
- Vieira, A.P.; Nicoletti, J.F.; Telis, V.R.N. Liofilização de fatias de abacaxi: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto. *Brazilian Journal of Food Technology*. v. 15, n. 1, p. 50-58, 2012.