

Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.)

Mathematical modeling of drying kinetics of grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.)

Modelado matemático de la cinética de secado de cortezas de pomelo (*Citrus paradisi* Macf.)

Recebido: 05/09/2019 | Revisado: 16/09/2019 | Aceito: 24/09/2019 | Publicado: 04/10/2019

Newton Carlos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: newtonquimicoindustrial@gmail.com

Daniela Dantas de Farias Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3053-6167>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: danieladantasfl@gmail.com

Gabriel Barbosa Câmara

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4964-0837>

Centro Universitário Unifacisa, Brasil

E-mail: gabrielbarbosacamara@hotmail.com

Sâmela Leal Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2047-4636>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: samelaleal7@gmail.com

Francislaine Suelia dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0814-4135>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: francislainesuelis@gmail.com

Tamires da Cunha Soares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0466-5021>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: tamiressoares22@outlook.com

Amélia Ruth Nascimento Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3565-5125>

Centro Universitário Unifacisa, Brasil
E-mail: ameliaruth.lima@gmail.com

Ticianne da Cunha Soares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3016-7763>
Universidade Federal do Piauí, Brasil
E-mail: ticiannesoes@outlook.com

Aline Pacheco Albuquerque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4059-095X>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: aline-quimicaindustrial@hotmail.com

Marcela Nobre Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3058-3780>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: marcela_nobre@msn.com

Ubieli Alves Araújo Vasconcelos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1319-9915>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: ubieli_araujo@hotmail.com

Alexandre José de Melo Queiroz

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6880-5951>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: alexandrejmq@gmail.com

Resumo

O objetivo do presente estudo foi caracterizar físico quimicamente cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.) e modelar a secagem das amostras desidratadas a 60, 70, 80 e 90 °C, avaliando-se os ajustes dos modelos e as taxas de secagem, nas respectivas temperaturas. As cascas *in natura* foram caracterizadas quanto ao teor de água, sólidos totais e solúveis, atividade de água, cinzas, pH, acidez total titulável, *Ratio* e ácido ascórbico. A cinética de secagem foi realizada em estufa de circulação de ar, ajustando-se onze modelos matemáticos, sendo considerado como critério de qualidade de ajuste, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM). As cascas da toranja apresentaram alto teor de água e atividade de água, baixa acidez e cinzas. Dez dos modelos apresentaram ajustes satisfatórios à cinética de secagem, destacando-se Page, Logarítmico, Aproximação de Difusão e Midilli,

com $R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,03$; o aumento de 50% na temperatura de secagem resultou numa redução do tempo de processo de aproximadamente 50%.

Palavras-chave: Desidratação; *Citrus paradisi*; Resíduos de alimentos;

Abstract

The objective of the present study was to characterize physically the grapefruit peel (*Citrus paradisi* Macf.) and to model the drying of the dehydrated samples at 60, 70, 80 and 90 °C, evaluating the model adjustments and the drying rates, in their respective temperatures. In natura barks were characterized by water content, total and soluble solids, water activity, ash, pH, total titratable acidity, *Ratio* and ascorbic acid. The drying kinetics were performed in an air circulation oven, adjusting eleven mathematical models, considering as fit quality criterion, the determination coefficients (R^2) and the mean square deviations (DQM). Grapefruit peels showed high water content and water activity, low acidity and ashes. Ten of the models presented satisfactory adjustments to the drying kinetics, highlighting Page, Logarithmic, Diffusion Approximation and Midilli, with $R^2 > 0.99$ and $DQM < 0.03$; the 50% increase in drying temperature resulted in a reduction of the process time by approximately 50%.

Keywords: Dehydration; *Citrus paradisi*; Food Waste;

Resumen

El objetivo del presente estudio fue caracterizar física y químicamente las cáscaras de pomelo (*Citrus paradisi* Macf.) y modelar el secado de muestras deshidratadas a 60, 70, 80 y 90 °C, evaluando los ajustes del modelo y las tasas de secado a sus temperaturas. Las cortezas *in natura* se caracterizaron por el contenido de agua, sólidos totales y solubles, actividad del agua, cenizas, pH, acidez titulable total, *Ratio* y ácido ascórbico. La cinética de secado se realizó en un horno de circulación de aire, ajustándose a once modelos matemáticos, donde el criterio de calidad de ajuste se consideró los coeficientes de determinación (R^2) y las desviaciones cuadradas medias (DQM). Las cáscaras de pomelo mostraron un alto contenido de agua y actividad del agua, baja acidez y cenizas. Diez de los modelos presentaron ajustes satisfactorios a la cinética de secado, destacando Page, Logarithmic, Diffusion Approximation y Midilli, con $R^2 > 0.99$ y $DQM < 0.03$; el aumento del 50% en la temperatura de secado resultó en una reducción del tiempo del proceso en aproximadamente un 50%.

Palabras clave: Deshidratación; *Citrus paradisi*; Residuos de Comida.

1. Introdução

A toranja (*Citrus paradisi* Macf.) é uma variedade de laranja da família Rutaceae, popular no mundo devido ao seu sabor e valor nutricional. Anteriormente era cultivada apenas como planta ornamental, no entanto passou a ser utilizada por seus efeitos benéficos à saúde devido à presença de vários compostos bioativos (Razavi e Hosseinzadeh, 2019).

Em consequência das características climáticas, o Brasil possui a maior produção e exportação mundial de citrus, sendo 98% da produção destinada à exportação (Santos et al., 2017). Após a extração do suco, cerca de 40 a 50% da fruta é descartada. Esse resíduo, resultante do processamento, é considerado como um problema ambiental devido à elevada facilidade de fermentação e biodegradabilidade (Cypriano et al., 2017; Santos et al., 2018).

Visando minimizar os custos da produção e os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos agroindustriais, a indústria agroalimentar busca novas alternativas para o reaproveitamento. Uma alternativa precursora é a aplicação de técnicas de conservação, como, a secagem, visando sua utilização na elaboração de novos produtos que possam ser introduzidos na alimentação humana.

O processo de secagem é um método de retirada do excesso de umidade por meio da evaporação, com transferência simultânea de massa e calor entre o ar e o produto, comumente decorre da aplicação de ar quente (Silva et al., 2016). A cinética de secagem, também compreendida como a velocidade com que determinado produto perde água, é influenciada pelas particularidades intrínsecas, assim como pela umidade relativa do ar, velocidade e temperatura (Silva et al., 2015). O reaproveitamento de resíduos agrícolas tem despertado crescente interesse, ensejando trabalhos com o propósito de estudar secagens de diversos subprodutos gerados pela agroindústria, entre os quais resíduos de abacaxi (Alexandre et al., 2013); cascas de manga espada (André et al., 2014) e casca de jabuticaba (Costa et al., 2016).

O presente estudo teve como objetivo caracterizar físico-quimicamente cascas da toranja (*Citrus paradisi* Macf.) e modelar a secagem das amostras desidratadas a 60, 70, 80 e 90 °C, avaliando-se os ajustes dos modelos e as taxas de secagem, nas respectivas temperaturas.

2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Para o

desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas toranjas (*Citrus paradisi* Macf.), safra 2018, adquiridas no comércio local de hortifrutícolas. As toranjas foram selecionadas e, as que apresentavam injúrias mecânicas, foram descartadas. Posteriormente, realizou-se a lavagem em água corrente e sanitização em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm por 15 min. Procedeu-se cortes longitudinais nas amostras, separando a polpa das cascas.

Caracterização físico-química

As cascas *in natura* das toranjas foram trituradas e caracterizadas em triplicatas, conforme os procedimentos analíticos do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008): teor de água e os sólidos totais, determinados pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C até peso constante; teor de cinzas por incineração em mufla a 550 °C e os resultados expressos em porcentagem; pH, determinado em potenciômetro digital; acidez total titulável por titulometria com NaOH 0,1 N; sólidos solúveis totais através de leitura direta da amostra em refratômetro portátil; *Ratio* determinado pela relação entre os sólidos solúveis totais (SST) e a acidez total titulável (ATT).

Seguindo os procedimentos da AOAC (2010) o teor de ácido ascórbico foi determinado através da titulação com o 2,6 diclorofenolindofenol sódio (DCFI) até obtenção da coloração rosa claro, permanente usando-se, como solução extratora, o ácido oxálico. A medida da atividade de água (a_w) foi realizada em equipamento Aqualab, modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.).

Cinética de secagem

Para a secagem, as cascas das toranjas foram cortadas e colocadas em cestas teladas, com aproximadamente 30 g, e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C.

As cinéticas de secagem foram realizadas pesando-se as cestas teladas com as amostras em intervalos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 min, até atingirem o equilíbrio dinâmico com o ar de secagem, sendo então determinada a massa seca de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Com os dados experimentais das cinéticas de secagem foram calculadas as razões do teor de água das amostras, de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que: RX – razão do teor de água da amostra (adimensional); X – teor de água da amostra em um determinado tempo de secagem (b.s.); X_i – teor de água inicial da amostra (b.s.); X_e – teor de água de equilíbrio da amostra (b.s.).

Com os dados coletados foram ajustados os dados de cinética de secagem pelos modelos matemáticos (Tabela 1) de Lewis, Thompson, Wang e Singh, Page Modificado, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação de difusão, Dois Termos e Midilli, utilizando-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, com o programa computacional STATISTICA 7.7®.

Tabela 1- Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados da cinética de secagem das cascas de toranjas

Designação do modelo	Modelo	Referência	Eq.
Lewis	$RX = \exp(-k.t)$	Kaleta e Górnicki (2010)	(2)
Thompson	$RX = \exp\left(\frac{-a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}\right)$	Sousa et al. (2011)	(3)
Wang e Singh	$RX = 1 + a.t + b.t^2$	Costa et al. (2015)	(4)
Page Modificado	$RX = \exp[-(k.t)^n]$	Arslan e Ozcan (2010)	(5)
Page	$RX = \exp(-k.t^q)$	Galdino et al. (2016)	(6)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k.t)$	Galdino et al. (2016)	(7)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \cdot \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.a.t)$	Ferreira et al. (2012)	(8)
Logarítmico	$RX = a \exp(-k.t) + c$	Diógenes et al. (2013)	(9)
Aproximação de Difusão	$RX = a \cdot \exp(-k.t) + (1-a) \cdot \exp(-k.b.t)$	Faria et al. (2012)	(10)
Dois termos	$RX = a \cdot \exp(-k_0.t) + b \cdot \exp(-k_1.t)$	Jittanit (2011)	(11)
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k.t^n) + b.t$	Galdino et al. (2016)	(12)

Onde: RX - razão do teor de água, adimensional; a, b, k, n, q - parâmetros dos modelos; t - tempo de secagem, min.

Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados experimentais, foram utilizados como critérios a análise do coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) (Equação 13), sendo considerado como um ajuste satisfatório o modelo que apresentou alto valor de R^2 e baixo valor de DQM.

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Em que: DQM - desvio quadrático médio; RX_{pred} - razão de água predita pelo modelo; RX_{exp} - razão de água experimental; n - número de observações realizadas durante o experimento.

Com os dados de teor de água (b.s.) das cascas de toranja em cada tempo de processo calcularam-se as taxas de secagem, de acordo com a Equação 14.

$$TX = \frac{X_{t+dt} - X_t}{dt} \quad (14)$$

Em que: TX - taxa de secagem ($\text{kg kg}^{-1}\text{min}^{-1}$); X_{t+dt} - teor de água em $t + dt$ ($\text{kg de água/kg de matéria seca}$); X_t - teor de água em um tempo específico (b.s.); t - tempo de secagem (min).

3. Resultados e discussão

Na Tabela 2 têm-se os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros físico-químicos avaliados na casca da toranja *in natura*.

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão dos parâmetros avaliados nas caracterizações físico-química das cascas da toranja

Parâmetros	Casca da toranja <i>in natura</i>
Teor de água (%)	82,18 ± 0,37
Sólidos Totais (%)	17,82 ± 0,37
Atividade de água (a_w)	0,995 ± 0,001
Cinzas (%)	0,79 ± 0,15
pH	5,21 ± 0,01

Acidez total titulável (%)	0,20 ± 0,02
Sólidos solúveis totais (°Brix)	10,67 ± 0,01
<i>Ratio</i> (SST/ATT)	53,34 ± 0,03
Ácido ascórbico (%)	15,44 ± 0,47

A casca da toranja apresentou alto teor de água (82,18%), valor semelhante ao obtido por Meneses et al. (2018) em estudos com resíduos de manga, goiaba e acerola que obtiveram, respectivamente, de 84,70, 75,01 e 81,99% e sólidos totais de 15,30, 24,99 e 18,01%. Assim como o teor de água, a atividade de água das cascas também apresentou valores elevados (0,995), valores aproximados do presente estudo foram observados por Nunes et al. (2017) em resíduos de abacaxi (0,980).

Segundo Barros et al. (2019) altos valores de teor de água associados a níveis elevados de atividade de água afetam diretamente a estabilidade do produto, possibilitando a ocorrência de processos de deterioração provocados por bolores e leveduras. Recomenda-se a aplicação de técnicas de conservação como a secagem convectiva, que é capaz de viabilizar a redução do teor de água e atividade de água do produto, tornando possível a conservação e armazenamento eficientes (Silva et al., 2019).

O teor de cinzas da casca da toranja (0,79%) foi superior ao encontrado na casca de jaboticaba (0,03%) por Faria et al. (2016), e aos de laranja lima (0,4%), laranja da terra (0,5%) e laranja valência (0,4%), de acordo com os dados da Taco (2011), evidenciando teor superior inclusive ao de polpas de outros citrus.

Apesar de provir de uma fruta cítrica, a casca da toranja apresentou baixa acidez total titulável, refletida em valor relativamente alto de pH. Farias et al. (2018) encontraram em casca de noni (*Morinda citrifolia*) pH de 4,05 e acidez total titulável de 8,70%. Neris et al. (2018), ao determinarem a acidez total titulável de cascas de bananas de diferentes variedades no estágio maduro, reportaram valores que variaram entre 0,07 a 2,40%. Segundo Aroucha et al. (2010) a acidez é importante, não somente para determinar a percepção de doçura de um produto, mas também pela atuação como conservante, para avaliação de qualidade e maturidade, indicador sensorial, entre outras.

O teor de sólidos solúveis, 10,67 °Brix, é inferior ao obtido para casca da pitaya, de 12,63 °Brix (Fernandes et al., 2017) e próximo ao resíduo da acerola, de 11,0 °Brix (Reis et al., 2017). As variações encontradas na literatura são atribuídas ao estágio de maturação da fruta, composição do solo de cultivo, dentre outros fatores.

O alto valor obtido para a relação do *ratio* (53,34), é devido principalmente à casca *in natura* ter apresentado percentual de acidez total titulável muito baixo, levando, ao final, a

uma relação alta. Segundo Santos et al. (2010) a relação SST/ATT (*ratio*) é considerada a principal característica para indicar o ponto de maturação comercial de frutos cítricos, porém, apenas a consideração desta relação pode levar a interpretações equivocadas sobre a impressão sensorial.

O teor de 15,44 mg/100 g de ácido ascórbico na casca da toranja pode classificá-la como provedora de vitamina C. Barros et al. (2012) determinaram o teor de ácido ascórbico em cascas de tangerina, reportando valor de 47,6 mg/100g de ácido ascórbico. Essas diferenças observadas podem estar relacionadas a diversos fatores, tais como colheita, condições climáticas na época de frutificação, temperatura, exposição à luz.

Na Tabela 3 encontram-se os valores dos parâmetros obtidos para onze modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da casca de toranja, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM), para as temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C.

Tabela 3 - Parâmetros de ajuste, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) de modelos matemáticos ajustados aos dados de secagem de cascas de toranja nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C

Modelo	Parâmetros				
	T (°C)	k	R^2	DQM	
Lewis	60	0,018478	0,9868	0,0408	
	70	0,028029	0,9892	0,0363	
	80	0,019515	0,9704	0,0612	
	90	0,022550	0,9696	0,0611	
Thompson	T (°C)	a	b	R^2	DQM
	60	0,002031	0,002630	0,8153	0,1529
	70	0,002216	0,003307	0,8337	0,1426
	80	0,002213	0,002775	0,7699	0,1704
Wang e Singh	T (°C)	a	b	R^2	DQM
	60	0,000036	0,000036	0,9807	0,0493
	70	-0,017672	0,000070	0,9585	0,0713
	80	-0,014868	0,000054	0,9969	0,0199
Page Modificado	T (°C)	k	n	R^2	DQM
	60	0,019850	1,056772	0,9912	0,0334
	70	0,029871	1,054082	0,9926	0,0300
	80	0,021505	1,080156	0,9800	0,0502
	90	0,024755	1,078453	0,9789	0,0508

	T (°C)	k	n	R ²	DQM		
Page	60	0,006545	1,266029	0,9991	0,0108		
	70	0,011499	1,252545	0,9995	0,0077		
	80	0,004363	1,388906	0,9965	0,0211		
	90	0,005588	1,374974	0,9953	0,0241		
	T (°C)	a	k	R ²	DQM		
Henderson e Pabis	60	1,056772	0,019850	0,9912	0,0334		
	70	1,054082	0,029871	0,9926	0,0300		
	80	1,080154	0,021505	0,9801	0,0502		
	90	1,078453	0,024755	0,9789	0,0508		
	T (°C)	a	k	R ²	DQM		
Exponencial de dois termos	60	0,002066	8,919819	0,9865	0,0413		
	70	0,002212	12,60722	0,9889	0,0367		
	80	0,001886	10,29529	0,9699	0,0616		
	90	0,000055	408,7313	0,9695	0,0611		
	T (°C)	a	k	c	R ²	DQM	
Logarítmico	60	1,101361	0,017508	-0,058168	0,9949	0,0254	
	70	1,080737	0,027481	-0,036400	0,9948	0,0250	
	80	1,210062	0,015965	-0,159070	0,9920	0,0318	
	90	1,229144	0,017687	-0,183202	0,9924	0,0305	
	T (°C)	a	k	b	R ²	DQM	
Aproximação de difusão	60	-178,636	0,034630	0,996037	0,9991	0,0106	
	70	-149,849	0,051569	0,995378	0,9996	0,0073	
	80	-274,864	0,039698	0,996970	0,9955	0,0238	
	90	-282,838	0,045373	0,997097	0,9944	0,0263	
	T (°C)	a	k ₀	b	k ₁	R ²	DQM
Dois termos	60	0,528564	0,019850	0,528564	0,019854	0,9912	0,0334
	70	0,527014	0,029859	0,527014	0,029870	0,9926	0,0300
	80	0,540061	0,021505	0,540094	0,021505	0,9806	0,0502
	90	0,539226	0,024755	0,539226	0,024755	0,9789	0,0508
	T (°C)	a	k	n	b	R ²	DQM
Midilli	60	0,987968	0,005942	1,283581	-0,000046	0,9934	0,0090
	70	0,991438	0,010778	1,266451	-0,000024	0,9996	0,0069
	80	0,992028	0,004521	1,365544	-0,000219	0,9974	0,0179
	90	0,996403	0,006392	1,321544	-0,000351	0,9967	0,0203

A constante "n" no modelo Page modificado, Page e Midilli, está relacionada com a resistência interna do material de secagem (Perez et al., 2013) não apresentou relação direta com o aumento da temperatura, o mesmo foi observado por Santos et al. (2017) ao secarem cascas de pitaya (*Hylocereus undatus*). Como observado para a constante n, os demais parâmetros dos modelos também não apresentaram relação direta com o aumento da

temperatura. O parâmetro k , que representa a constante de secagem, não apresentou comportamento definido com aumento da temperatura. Esse parâmetro representa o efeito das condições externas de secagem (Goneli et al., 2011).

Os coeficientes de determinação (R^2) apresentaram valores superiores a 0,95 nas temperaturas empregadas na secagem, exceto o modelo de Thompson. Destacaram-se com melhores ajustes os modelos de Page, Logarítmico, Aproximação de Difusão e Midilli em todas as temperaturas, com os menores desvios médios quadráticos observados nos modelos Page e Aproximação da Difusão, com DQM $<0,0263$. Souza et al. (2016) também reportaram coeficientes de determinação superiores 0,95 para o modelo Midilli em secagem de bagaço de malte nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

O modelo Page foi selecionado para representar as curvas de cinética de secagem, apresentadas na Figura 1. Gonçalves et al. (2016) na secagem de casca e polpa da banana verde (*Musa acuminata*), verificaram, entre vários modelos testados, a adequação do modelo de Page, selecionando-o para representação das curvas de secagem.

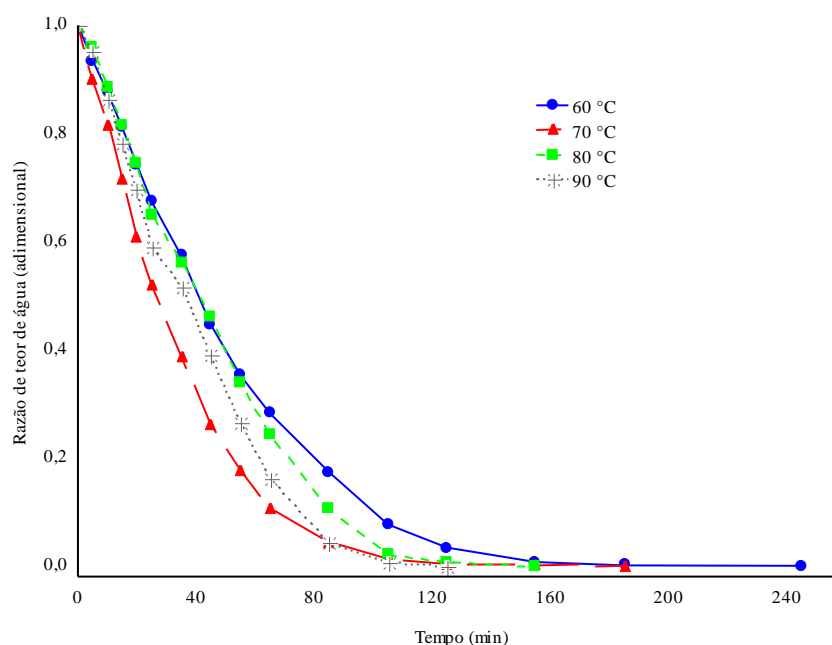


Figura 1 - Cinética de secagem das cascas de toranja ajustadas ao modelo de Page nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C

Na Figura 2 estão apresentadas as curvas da taxa de secagem da casca de toranja para as temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C. Quando as cascas foram submetidas a 60 °C, o tempo necessário para reduzir o teor de água para $10 \text{ gH}_2\text{O.gms}^{-1}$ foi de aproximadamente 250 min;

para a temperatura de 90 °C o tempo foi de aproximadamente de 130 min, uma redução de 50% entre as temperaturas extremas no intervalo utilizado.

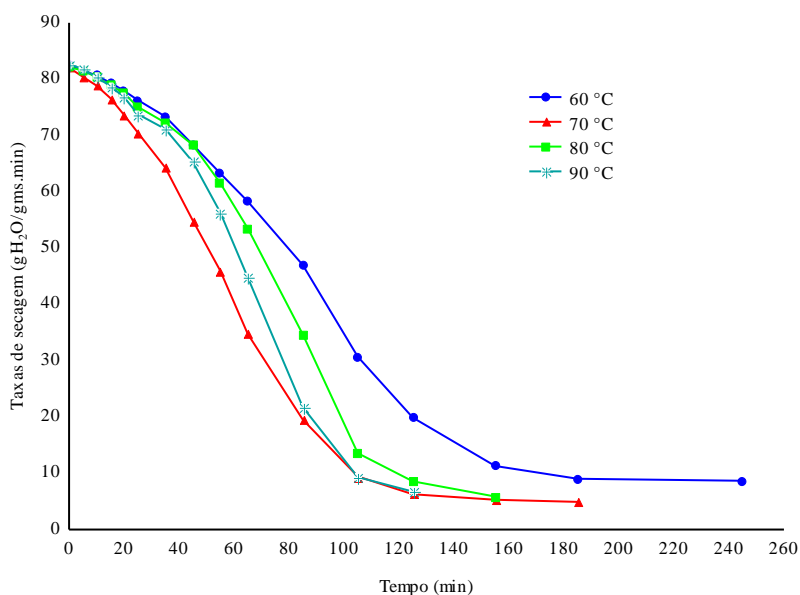


Figura 2 - Taxa de secagem das cascas de toranja nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C

4. Conclusões

Com o presente estudo, foi possível observar que dentre os parâmetros físico-químicos avaliados, a casca da toranja *in natura* apresentou alto teor de umidade, com elevado valor de atividade de água e conseqüentemente alta perecibilidade, constatando baixa acidez e pH não ácido. Foi evidente a necessidade de aplicação de técnicas de conservação como a secagem, agregando valor ao produto do ponto de vista comercial e tecnológico.

Observou-se na cinética de secagem que dentre os onze modelos matemáticos testados, os modelos de Page, Logarítmico, Aproximação de Difusão e Midilli proporcionaram excelentes ajustes, com altos R² e baixos DQM. No entanto, o modelo de Page foi considerado o melhor devido a simplicidade de sua equação descrevendo de forma satisfatória a secagem de cascas da toranja. Foi perceptível que, o tempo de secagem das cascas foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem e que este aumento de temperatura proporcionou uma maior taxa de remoção de água do produto. Sendo que, o incremento de 30 °C na temperatura reduziu o tempo de secagem em cerca de 50%.

Sendo assim, a secagem é uma alternativa viável e de baixo custo para o aproveitamento da casca da toranja, além de reduzir os impactos ambientais, pode ser

introduzida na alimentação humana e no desenvolvimento de novos produtos. No entanto, como sugestões de trabalhos futuros, uma maior relação de análises pode ser realizada tanto na casca *in natura* como nas desidratadas em cada temperatura aplicada, afim de avaliar os efeitos da temperatura de secagem aplicada sobre seus constituintes nutricionais e físico-químicos.

Referências

Alexandre, H. V.; Silva, F. L. H.; Gomes, J. P.; Silva, O. S.; Carvalho, J. P. D. & Lima, E. E. (2013) - Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, n. 6, p. 640-646. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000600010>.

André, A. M. M. C. N.; Castro, D. S.; Almeida, R. D.; Oliveira, V. F.; Santos M. I. (2014) - Comparação de modelos matemáticos da cinética de secagem de cascas de Manga Espada. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 9, n. 3, p. 19-27.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists (2010) - *Official Methods of Analysis*. 18th ed, 3th review, Washington, USA: AOAC, 1094 p.

Aroucha, E. M. M.; Gois, V. A.; Leite, R. H. L.; Santos, M. C. A. & Souza, M. S. (2010) - Acidez em frutas e hortaliças. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 5, n. 2, p. 01 – 04.

Arslan, D. & Ozcar, M. M. (2010) - Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *Food Science and Technology*, vol. 43, n. 7, p. 1121-1127. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.019>

Barros, H. R. M.; Ferreira, T. A. P. C. & Genovese, M. I. (2012) - Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, vol. 134, n.4, p. 1892-1898, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.090>

Barros, S. L., Silva, W. P., Figueiredo, R. M. F., Araujo, T. J., Santos, N. C. & Gomes, J. P. G. (2019) - Efeito da adição de diferentes tipos de açúcar sobre a qualidade de geleia elaborada com abacaxi e canela. *Revista Principia*, vol. 45, p. 1-8.

Costa, C. F.; Corrêa, P. C.; Vanegas, J. D.; Baptestini, F. M.; Campos, R. C.; Fernandes, L. S. (2016) - Mathematical modeling and determination of thermodynamic properties of jabuticaba peel during the drying process. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, n. 6, p. 576-580. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p576-580>

Costa, L. M.; Resende, O.; Gonçalves, D. N. & Oliveira, D. E. C. (2015) - Modelagem matemática da secagem de frutos de crambe em camada delgada. *Bioscience Journal*, vol. 31, n. 2, p. 392-403. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22340>

Cypriano, D. Z.; da Silva, L. L.; Mariño, M. A.; & Tasic, L. (2017) - A Biomassa da Laranja e seus Subprodutos. *Revista Virtual Química*, vol. 9, n. 1, p. 176-191.

Diógenes, A. M. G.; Queiroz, A. J. M.; Figueirêdo, R. M. F. & Santos, D. C. (2013) - Cinética de secagem de grãos de abóbora. *Revista Caatinga*, vol. 26, n. 1, p. 71-80.

Faria, G. S.; Jardim, F. B. B.; Silva, A. C.; Costa, L. L. & Abdalla, D. R. (2016) - Caracterização química da casca de jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba*) liofilizada e sua aplicação em leite fermentado potencialmente simbiótico. *Jornal de Ciências Biomédicas e Saúde*, vol. 2, n. 1, p. 02-09.

Faria, R. Q.; Teixeira, I. R.; Devilla; I. A.; Ascheri, D. P. R. & Resende, O. (2012) - Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, n. 5, p. 57-583. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500014>

Farias, L. L.; Loss, R. A.; Silva, S. S.; Puton, B. M. S.; Paroul, N.; Cansian, R. L. & Guedes, S. F. (2018) - Antimicrobial potential and physicalchemical evaluation of noni shell, pulp and biomass (*Morinda citrifolia* Linn). *Global Science Technology*, vol. 11, n. 02, p.247-255.

Fernandes, L. M. S.; Vieites, R. L.; Lima, G. P. P.; Braga, C. L. & Amaral, J. L. (2017) - Caracterização do fruto de pitaya orgânica. *Biodiversidade*, v. 16, n.1, p. 167-178.

Ferreira, L. F. D.; Pirozi, M. R.; Ramos, A. M. & Pereira, J. A. M. (2012) - Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 47, n. 6, p. 855-862. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600017>.

Franco, B. D. G. & Landgraf, M. (2005) - *Microbiologia dos alimentos*. São Paulo, Atheneu, 182 p.

Galdino, P. O.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M. & Galdino, P. O. (2016) - Drying kinetics of atemoya pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, n. 7, p. 672-677. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p672-677>

Gonçalves, J. Q.; da Silva, M. A. P.; Plácido, G. R.; Caliari, M.; Silva, R. M.; Moura, L. C. & Souza, D. G. (2017) - Secagem da casca e polpa da banana verde (*Musa acuminata*): Propriedades físicas e funcionais da farinha. *Global Science and Technology*, vol. 9, n. 3, p. 62-72.

Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Magalhães, F. E. A. & Baptista, F. M. (2011) - Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. *Acta Scientiarum*, vol. 33, n.1, p. 1-8.

IAL. (2008) - *Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos*. 4ª ed., 1ª ed. Digital, São Paulo, IAL, 1020 p.

Jittanit, W. (2011) - Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. *Kasetsart Journal: Natural Science*, vol. 45, n. 1, p. 147-158.

Kaleta, A. & Górnicki, K. (2010) - Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, n. 5, p. 891-898, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02230.x>

Meneses, V. P.; Silva, J. R. A.; Neto, J. F.; Rolim, H. O.; Araújo, A. L. M. & Lima, P. S. E. (2018) By-products of tropical fruits dehydrated by convective. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 13, n. 4, p. 472-482, 2018.

Neris, T. S.; Silva, S. S.; Loss, R. A.; Carvalho, J. W. P. & Guedes, S. F. (2018) - Physicalchemical evaluation of banana peel (*Musa spp.*) in natura and dehydrated in different maturation stages. *Ciência e Sustentabilidade*, vol. 4, n. 1, p. 05-21, 2018.

Nunes, J. S.; Lins, A. D. F.; GOMES, J. P.; SILVA, W. P. & SILVA, F. B. (2017) - Influence of drying temperature on the physical-chemical properties of pineapple residues. *Revista Agropecuária Técnica*, vol. 1, n. 1, p. 41-46. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v38i1.29991>

Perez, L. G.; Oliveira, F. M. N. DE; Andrade, J. S. & Moreira Filho, M. (2013) - Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. *Revista Ciência Agronômica*, vol.44, n.1, p.102-106.

Razavi, B. M. & Hosseinzadeh, H. A. (2019) - Review of the Effects of *Citrus paradisi* (Grapefruit) and Its Flavonoids, Naringin, and Naringenin in Metabolic Syndrome. *Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes*, p. 515–543, 2019. doi:10.1016/b978-0-12-813822-9.00034-5.

Reis, D. S.; Neto, A. F.; Ferraz, A. V. & Freitas, S. T. (2017) - Production and storage stability of acerola flour dehydrated at different temperatures. *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 20, p. 01-07. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.8315>

Santos, D. M.; Izidoro Júnior, A.; Baldisera, S. S.; Lopes, A. D. & Valle, J. S.; Gomes, S. M. S. (2017) - Utilização de óleo essencial de duas variedades de laranja na eclosão de *Meloidogyne javanica*. *Arquivos de Ciência Veterinárias e Zoologia*, vol. 20, n. 3, p. 161-166. <https://doi.org/10.25110/arqvet.v20i3.2017.6693>

Santos, D.; Matarazzo, H. M.; Silva, D. F. P.; Siqueira, D. L.; Santos, D. C. M. & Lucena, C. C. (2010) - Characterization of citrus apirenic fresh fruit produced in Viçosa, Minas Gerais. *Revista Ceres*, vol. 57, n. 3, p. 393-400. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2010000300016>

Santos, F. S.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M. & Santos, D. C. (2017) - Drying kinetics and physical and chemical characterization of white-fleshed ‘pitaya’ peels. *Revista Brasileira*

de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 21, n. 12, p. 872-877.
<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p872-877>

Santos, L. A.; Santos, A. F. M. S.; Valença, R. B.; Jucá, J. F. T. & Oliveira, R. M. (2018) - Production of biogas from orange bagasse. *Ciências Ambientais e Biotecnologia*, vol. 4, n. 3, p. 22-27.

Silva, E. S.; Oliveira, J.; Machado, A. V. & Costa, R. O. (2015) - Secagem de grãos e frutas: revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, vol. 5, n. 1, p. 19-23.

Silva, R. B.; Silva, F. S.; Porto, A G. & Alves, A P. (2016) - Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, vol. 10, n. 2, p. 2069-2080.

Silva, V. M. A.; Ribeiro, V. H. A.; Santos, N. C.; Barros, S. L.; Nascimento, A. P. S. & Almeida, R. L. J. (2019) - Obtenção e caracterização físico-química da farinha de beterraba em diferentes temperaturas. In: Francisco, Paulo Roberto Megna (Org.). *Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação*, Campina Grande, EPGRAF, v. 2, n.1, p. 73-81.

Sousa, F. T.; Silva, M. A. P.; Oliveira, D. E. C.; Plácido, G. R.; Cagnin, C.; Moura, L. C.; Souza, D. G.; Caliarí, M. & Lima, M. S. (2016) - Mathematical modeling of the drying and physical and functional properties of malt bagasse. *Global Science and Technology*, vol. 9, n. 3, p. 51-61.

Sousa, K. A.; Resende, O.; Chaves, T. H. & Costa, L. M. (2011) - Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 4, p. 883-892.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400009>

Taco (2011) - Tabela brasileira de composição dos alimentos. 4ª ed. Campinas, NEPA/ UNICAMP, 161 p.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Newton Carlos Santos - 8,33%

Daniela Dantas de Farias Leite - 8,33%

Gabriel Barbosa Câmara - 8,33%

Sâmela Leal Barros - 8,33%

Francislaine Suelia dos Santos - 8,33%

Tamires da Cunha Soares - 8,33%

Amélia Ruth Nascimento Lima - 8,33%

Ticianne da Cunha Soares - 8,33%

Aline Pacheco Albuquerque - 8,33%

Marcela Nobre Oliveira - 8,33%

Ubieli Alves Araújo Vasconcelos - 8,33%

Alexandre José de Melo Queiroz - 8,33%