

Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*)

Mathematical modeling of drying kinetics of kino bark (*Cucumis metuliferus*)

Modelado matematico de la cinetica de sacado de cortezas de kino (*Cucumis metuliferus*)

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

Sâmela Leal Barros

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

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: samelaleal7@gmail.com

Gabriel Barbosa Câmara

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

Centro Universitário Unifacisa, Brasil

E-mail: gabrielbarbosacamara@hotmail.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

Newton Carlos Santos

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

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: newtonquimicoindustrial@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: ticiannesoares@outlook.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

Aline Pacheco Albuquerque

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4059-095X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: aline-quimicaindustrial@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

Objetivou-se com este trabalho realizar a caracterização química e física das cascas do kino (*Cucumis metuliferus*) bem como avaliar através da modelagem matemática a cinética de secagem em diferentes temperaturas. As cascas foram caracterizadas *in natura* quanto ao teor de água, sólidos totais e solúveis, atividade de água, cinzas, pH, acidez total titulável, *Ratio* e ácido ascórbico. Determinou-se a cinética de secagem nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, ajustando os dados a doze modelos matemáticos utilizando como critérios de ajuste o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM). As cascas do kino apresentaram alto teor de água e atividade de água, com parâmetros de acidez e cinzas relativamente baixos e teores satisfatórios de ácido ascórbico, sólidos totais e solúveis. Dez dos modelos testados apresentaram ajustes satisfatórios aos dados da cinética de secagem, destacando-se os modelos de Page e Aproximação da Difusão, com $R^2 > 0,999$ e $DQM < 0,091$.

Palavras-chave: *Cucurbitaceae*; Desidratação; Resíduos de Alimentos;

Abstract

The objective of this work was to perform the chemical and physical characterization of the kino bark (*Cucumis metuliferus*) as well as to evaluate through mathematical modeling the drying kinetics at different temperatures. The barks were characterized *in natura* for water content, total and soluble solids, water activity, ashes, pH, total titratable acidity, Ratio and ascorbic acid. The drying kinetics at 60, 70, 80 and 90 °C were determined by adjusting the data to twelve mathematical models using the coefficient of determination (R^2) and the mean square deviation (DQM) as adjustment criteria. The kino barks showed high water content and water activity, with relatively low acidity and ash parameters and satisfactory contents of ascorbic acid, total and soluble solids. Ten of the models tested presented satisfactory adjustments to the drying kinetics data, highlighting the Page and Diffusion Approximation models, with $R^2 > 0.999$ and $DQM < 0.091$.

Keywords: *Cucurbitaceae*; Dehydration; Food Waste;

Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización química y física de las cortezas de kino (*Cucumis metuliferus*) y evaluar mediante modelos matemáticos la cinética de secado a diferentes temperaturas. Las cortezas se caracterizaron en natura por contenido de agua, sólidos totales y solubles, actividad del agua, cenizas, pH, acidez titulable total, relación y ácido ascórbico. La cinética de secado se determinó a 60, 70, 80 y 90 °C, ajustando los datos a doce modelos matemáticos, considerando como criterios de ajuste el coeficiente de determinación (R^2) y la desviación cuadrática media (DQM). Las cortezas de kino mostraron alta actividad de agua y agua, baja acidez y cenizas, buen contenido de sólidos totales y sólidos solubles moderados y contenido de ácido ascórbico. Diez de los modelos probados presentaron ajustes satisfactorios a los datos de cinética de secado, destacando los modelos de aproximación de página y difusión, con $R^2 > 0.999$ y $DQM < 0.091$.

Palabras clave: *Cucurbitaceae*; Desidratación; Residuos de Comida;

1. Introdução

O kino (*Cucumis metuliferus*) é uma espécie da família *Cucurbitaceae* originada nas regiões semiáridas sul e central do continente africano. Com potencial para o mercado

internacional, destina-se tanto ao consumo na forma de sucos, como para uso farmacêutico (Antunes et al., 2014). É também conhecido como pepino africano, pepino africano chifrado, pepino de espinhos, kiwano ou melano, sendo os dois últimos introduzidos como nome comercial por produtores da Nova Zelândia e Israel, respectivamente (NRC, 2008).

Os frutos são ligeiramente alongados, na forma de um elipsoide, com cerca de 10 a 15 cm de comprimento. A casca, verde-clara inicialmente, torna-se amarelo-alaranjado após o amadurecimento, podendo chegar a um alaranjado muito intenso. Apresenta espinhos piramidais, com cerca de 1 cm de comprimento, em toda a extensão do fruto. A polpa é verde-clara, translúcida, com muitas sementes (Wannang et al. 2007; NRC, 2008; Antunes et al., 2014). O fruto é rico em potássio e pobre em sódio, sendo indicado como diurético, apresentando poder medicinal (Wannang et al., 2007; Jimam et al., 2010).

Após o processamento do kino para a extração da polpa grande quantidade de resíduos são geradas, sendo estes constituídos principalmente pelas cascas que podem apresentar teores de fibras, minerais, vitaminas, compostos antioxidantes e bioativos superiores aos presentes na polpa. De acordo com Storck et al. (2013) observa-se um aumento do interesse da indústria em utilizar métodos viáveis para o aproveitamento destes materiais residuais.

Em virtude do elevado teor de água das cascas, faz-se necessário a redução desse teor visando minimizar as atividades biológicas e bioquímicas, prolongando desta maneira a vida útil e a estabilidade de possíveis produtos durante a estocagem (Santos et al., 2016).

A utilização do processo de secagem proporciona a redução do teor de água até níveis seguros para o armazenamento, uma vez que envolve transferências de calor e massa, influenciando as atividades biológicas e a estrutura química e física das sementes, dependendo das condições e métodos de secagem adotados (Resende et al., 2010).

Por meio da modelagem matemática da cinética de secagem é possível descrever o comportamento da transferência de massa entre o produto e o agente de secagem, o que contribui com informações sobre o comportamento do mesmo durante o processo, despertando o interesse de pesquisadores para os mais diversos tipos de materiais (Santos et al., 2017).

Objetivou-se com o presente trabalho caracterizar físico quimicamente as cascas do kino (*Cucumis metuliferus*) avaliando através da modelagem matemática a cinética de secagem em diferentes temperaturas.

2. Metodologia

O kino (*Cucumis metuliferus*), safra 2018, foi adquirido no comércio local de hortifrútícolas. Os frutos foram selecionados e lavados em água corrente. Foi utilizada solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm por aproximadamente 10 min para a sanitização. Procedeu-se cortes longitudinais nas amostras, separando a polpa das cascas.

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

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 por meio de higrômetro Aqualab, modelo 3TE (Decagon Devices, Inc.).

Para o processo de desidratação, as cascas do kino foram cortadas, colocadas em cestas teladas, com aproximadamente 20 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 triplicata, 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 em estufa a 105 °C, 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 construídas as curvas de cinética de secagem e os modelos matemáticos (Tabela 1) de Lewis, Thompson, Wang e Singh, Page Modificado, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação da Difusão, Dois Termos e Midilli foram ajustados aos dados experimentais, utilizando-se a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, através do programa computacional STATISTICA 7.7®.

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

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	$RX = \exp(-k.t^n)$	Galdino et al. (2016)	(6)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k.t)$	Galdino et al. (2016)	(7)
Exponencial de Dois Termos	$RX = a \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.a.t)$	Ferreira et al. (2012)	(8)
Logarítmico	$RX = a \exp(-k.t) + c$	Diógenes et al. (2013)	(9)
Aproximação da Difusão	$RX = a \exp(-k.t) + (1-a) \exp(-k.b.t)$	Faria et al. (2012)	(10)
Dois Termos	$RX = a \exp(-k_0.t) + b \exp(-k_1.t)$	Jittanit (2011)	(11)
Midilli	$RX = a \exp(-k.t^n) + b.t$	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 qual modelo produziu o melhor ajuste foram utilizados, como parâmetros, o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), este último conforme a Equação 13.

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

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 do kino em cada tempo de desidratação, calculou-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 $t + dt$ (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

No Tabela 2 têm-se os valores médios e os desvios padrões dos parâmetros químicos e físicos avaliados na casca do kino *in natura*.

Tabela 2 – Valores médios e desvios padrões da caracterização química e física da casca do kino *in natura*

Parâmetros	Casca do kino <i>in natura</i>
Teor de água (%)	92,92 ± 0,28

Sólidos Totais (%)	7,08 ± 0,28
Atividade de água (Aw)	0,996 ± 0,000
Cinzas (%)	0,48 ± 0,01
pH	5,40 ± 0,01
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,11 ± 0,00
Sólidos solúveis totais (SST) (%)	5,67 ± 0,58
<i>Ratio</i> (SST/ATT)	54,35 ± 047
Ácido ascórbico (mg/100g)	4,77 ± 0,52

Observou-se que a casca de kino possui elevada atividade de água (0,996) e elevado teor de água (92,92%). Rodriguez et al. (1992) ao estudarem a polpa de kino obtiveram valores médios do teor de água de 90,4%. Neris et al. (2018) em seus estudos relacionados a casca de banana em diferentes estágios de maturação obtiveram teores de umidade próximos a 90%. Para que o produto apresente maior tempo de vida útil como ressaltam Meneses et al. (2018) é essencial a redução do teor de água e da atividade de água através da aplicação de técnicas de secagem ou desidratação.

O teor de cinzas, referente a quantidade de minerais presentes no material, foi de 0,48%. Segundo Storck et al. (2013) cascas de frutas e vegetais em sua maioria apresentam teores de cinzas superior a 1%, em proximidade ao da casca de kino reporta-se a casca de manga (0,44%), podendo citar ainda valores médios para cinzas de cascas da banana (1,29%), laranja (1,39%), melão (1,19%) e mamão (1,67%).

A casca do kino apresentou 7,08 °Brix de teor de sólidos solúveis totais, pH de 5,40 e baixa acidez total titulável (0,11% de ácido cítrico). Souza et al. (2006) ao caracterizarem polpas de kino observaram valores inferiores ao do presente estudo para os sólidos solúveis totais (2 a 4 °Brix) e pH (3,83 a 4,42) e superiores para a acidez total titulável, de 0,85% ácido cítrico.

Devido ao baixo teor de sólidos solúveis totais e acidez titulável observados na casca de kino, obteve-se um valor alto de *ratio* (54,35). Segundo Botelho et al. (2019), o parâmetro *ratio* é uma das formas mais utilizadas para avaliação do sabor, sendo mais representativa que a medição isolada de açúcares ou da acidez, pois representa o equilíbrio entre esses dois componentes e indica a doçura dos alimentos. Portanto pode-se afirmar que a casca de kino apresenta elevado grau de doçura. Quanto ao teor de ácido ascórbico, o valor médio de 4,77 mg/100 g é semelhante por exemplo ao apresentado na tabela brasileira de composição de alimentos para melancia *in natura* (6,1 mg/100g) (TACO, 2011).

No Tabela 3 encontram-se os valores dos parâmetros obtidos para os modelos matemáticos de Lewis, Thompson, Wang e Singh, Page Modificado, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação da difusão, Dois Termos e Midilli. O grau de precisão dos ajustes dos modelos aos dados experimentais foi verificado em função do coeficiente de determinação (R^2) e do desvio quadrático médio (DQM) para as temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C.

Tabela 3 - Coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos matemáticos ajustados aos dados das cascas do kino nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C

Modelo	Parâmetro				
	T (°C)			R^2	DQM
Lewis	60		k	0,9968	0,0193
	70		0,024665	0,9940	0,0268
	80		0,026129	0,9993	0,0089
	90		0,024006	0,9951	0,0231
Thompson	60	a	b	R^2	DQM
	70	0,000001	0,000023	0,8758	0,1200
	80	0,002297	0,003317	0,8584	0,1301
	90	0,000001	0,000001	0,8867	0,1100
Wang e Singh	60	a	b	R^2	DQM
	70	-0,011111	0,000025	0,7689	0,1636
	80	-0,012757	0,000033	0,8268	0,1439
	90	-0,013797	0,000042	0,9010	0,1028
Page Modificado	60	k	n	R^2	DQM
	70	0,025507	1,026349	0,9976	0,0168
	80	0,027516	1,042238	0,9959	0,0221
	90	0,023777	0,992899	0,9994	0,0085
Page	60	k	n	R^2	DQM
	90	0,044623	1,032313	0,9962	0,0204
Page	60	k	n	R^2	DQM
	90	0,015796	1,122500	0,9995	0,0090

	70	0,013327		1,187688	0,9995	0,0075	
	80	0,024608		0,993278	0,9998	0,0089	
	90	0,025668		1,163233	0,9993	0,0091	
	T (°C)	a		k	R ²	DQM	
Henderson e Pabis	60	1,026349		0,025507	0,9976	0,0168	
	70	1,042239		0,027516	0,9959	0,0221	
	80	0,992899		0,023777	0,9993	0,0085	
	90	1,032313		0,044623	0,9962	0,0204	
	T (°C)	a		k	R ²	DQM	
Exponencial de Dois Termos	60	0,000023		1067,351	0,9968	0,0193	
	70	0,002462		10,55895	0,9934	0,0273	
	80	0,012514		1,886114	0,9994	0,0082	
	90	0,002821		15,19541	0,9949	0,0235	
	T (°C)	a	K	c	R ²	DQM	
Logarítmico	60	1,033131	0,024920	-0,009553	0,9978	0,0160	
	70	1,054738	0,026412	-0,017335	0,9966	0,0201	
	80	1,000398	0,023107	-0,010978	0,9995	0,0071	
	90	1,044069	0,042861	-0,016428	0,9970	0,0181	
	T (°C)	a	K	b	R ²	DQM	
Aproximação da difusão	60	-29,7035	0,039336	0,983708	0,9993	0,0079	
	70	-104,286	0,045088	0,994245	0,9996	0,0066	
	80	0,012515	2,480317	0,009516	0,9994	0,0082	
	90	-128,074	0,070572	0,995709	0,9993	0,0085	
	T (°C)	a	k0	b	k1	R ²	DQM
Dois Termos	60	0,513170	0,025505	0,513170	0,025507	0,9976	0,0168
	70	0,521119	0,027516	0,521119	0,027516	0,9959	0,0221
	80	0,493892	0,023777	0,499007	0,023777	0,9994	0,0085
	90	0,516157	0,044623	0,516157	0,044623	0,9962	0,0204
	T (°C)	a	k	n	b	R ²	DQM
Midilli	60	0,990254	0,014474	1,143080	0,000006	0,9994	0,0086
	70	0,992836	0,012510	1,202556	0,000000	0,9996	0,0073
	80	0,993146	0,024379	0,990462	-0,000055	0,9950	0,0082
	90	0,994560	0,024908	1,170026	-0,000016	0,9993	0,0088

Verifica-se que, com exceção do modelo de Thompson, Wang e Singh, todos os modelos matemáticos aplicados na cinética de secagem das cascas de kino apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 para as temperaturas avaliadas. De acordo com Araújo et al. (2017), valores de R^2 superiores a 0,98 indicam que os modelos matemáticos representam de maneira satisfatória o comportamento de secagem. Sendo assim pode-se afirmar que os modelos de Thompson, Wang e Singh apresentam uma qualidade de ajuste inferior na descrição da cinética de secagem das cascas de kino.

Segundo Martins et al. (2014) para selecionar os modelos matemáticos não lineares deve-se utilizar como critério os valores de R^2 e do desvio quadrático médio (DQM). A partir destes fatores, pode-se afirmar que os modelos Page e Aproximação da Difusão apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais da casca do kino, com valores de $R^2 > 0,999$ e $DQM < 0,091$.

De acordo com Martins et al. (2015) o parâmetro k representa a difusividade efetiva no processo de secagem e apresenta tendência de aumento com a elevação da temperatura. Gomes et al. (2017) observaram que o aumento da temperatura no processo de secagem pode provocar a redução da viscosidade da água, indicando que a água encontrada no interior consegue migrar com maior facilidade quando comparada a menores temperaturas de secagem, fato evidenciado quando foi observado aumento nos valores do coeficiente k . No presente estudo não foi observada relação direta deste parâmetro com o aumento da temperatura, indicando ausência de correlação entre o aumento da temperatura e variações na viscosidade da água presente no produto, comportamento semelhante foi observado por Riguetto et al. (2018) na cinética de secagem de uvaia.

No presente estudo não foi observada correlação entre o parâmetro “ n ” e a temperatura aplicada no ar de secagem, assim como observado por Araújo et al. (2017) em seus estudos sobre secagem de amendoim, em que os autores destacam que o parâmetro “ n ” expresso no modelo de Page, Page modificado e Midilli reflete a resistência interna do produto à secagem.

Apresenta-se na Figura 1 a taxa de secagem das cascas do kino nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C.

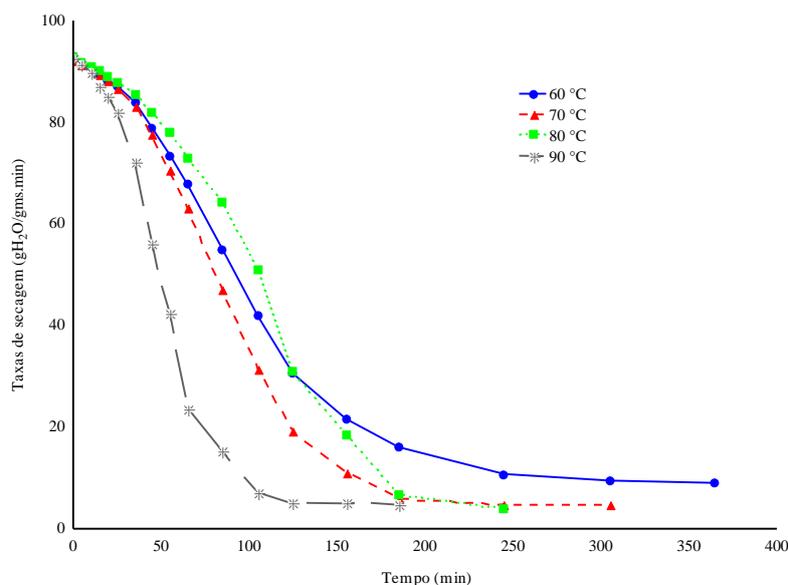


Figura 1 - Taxa de secagem das cascas do kino nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C

Observa-se que a maior taxa de secagem ocorre no início do processo, elucidada pela maior inclinação das curvas. As cascas de kino apresentaram tempo de secagem de aproximadamente 190 min na temperatura de 90 °C e 360 min na temperatura de 60 °C, com tempo de secagem inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem, comportamento esperado. Este fato é explicado por Silva et al. (2017) que afirmam que o acréscimo da temperatura do ar de secagem proporciona maior atuação dos mecanismos difusivos no interior da casca, obtendo-se maior quantidade de sítios ativos na superfície de evaporação, proporcionando uma maior taxa de remoção de água do produto e diminuição do tempo de secagem.

O modelo matemático de aproximação da difusão foi observado por Santos et al. (2016) como o de melhor ajuste aos dados experimentais obtidos no processo de secagem do fruto de palma (*Opuntia ficus indica*). Vidal et al. (2016), também constataram que o modelo de aproximação da difusão apresentou ajuste satisfatório aos dados obtidos na secagem de folhas nim (*Azadirachta indica* A. Juss.).

Castro et al. (2016) ao estudarem a cinética de polpa de taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam.)) verificaram que o modelo matemático Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais. O modelo de Page também foi avaliado como representativo na descrição do processo de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) estudado por Moscon et al. (2017).

Embora mais de um modelo tenham se ajustado aos dados experimentais, o modelo Page representado na Figura 2 foi selecionado para representar a cinética de secagem das cascas de kino, tendo em vista, além dos coeficientes estatísticos favoráveis, a simplicidade da equação.

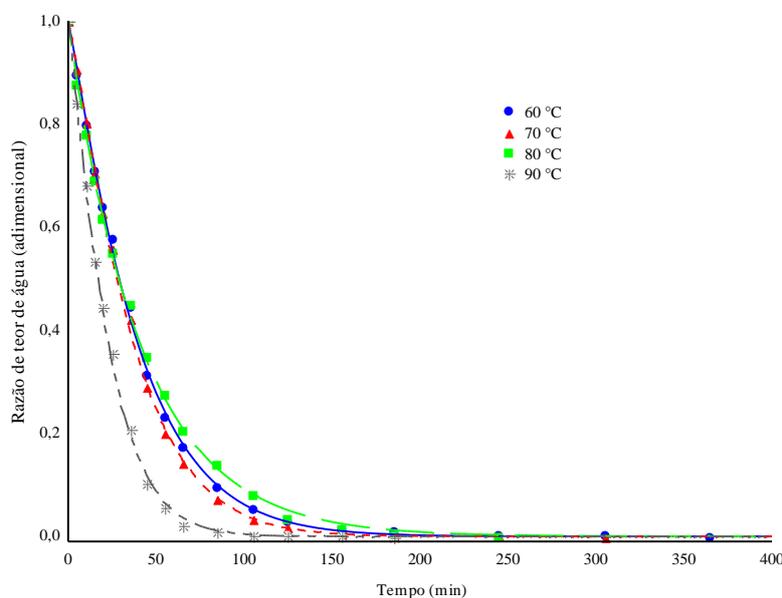


Figura 2 - Cinética de secagem das cascas de kino ajustadas ao modelo de Page nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C

4. Conclusões

Com o presente estudo foi possível observar que dentre os parâmetros físico-químicos avaliados a casca do kino *in natura* apresentou valores considerados baixos para acidez e pH não ácido, constando ainda elevado teor de água e atividade de água e em consequência baixo teor de sólidos totais, caracterizando a casca do kino como um produto perecível. As cascas apresentaram ainda baixo teor de sólidos solúveis totais e de vitamina C. Com base nesses resultados foi notório a necessidade de aplicação de técnicas de conservação como a secagem, com o intuito de minimizar os impactos ambientais em decorrência do descarte inadequado desse material e agregar valor ao produto no ponto de vista comercial e tecnológico.

Com relação a cinética de secagem, observou-se que dentre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais, apenas os modelos de Page e Aproximação da Difusão apresentaram ajustes satisfatórios. No entanto, o modelo de Page foi considerado como o de melhor ajuste devido a simplicidade de sua equação descrevendo de forma satisfatória a

secagem de cascas de kino. Vale salientar que o tempo de secagem das cascas foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem resultando em uma maior taxa de remoção de água do produto.

Diante do exposto, a utilização do processo de secagem torna-se uma alternativa viável e de baixo custo para o aproveitamento da casca do kino, garantindo além da redução nos impactos ambientais, o desenvolvimento de novos produtos que podem ser introduzidos na alimentação humana e. Salienta-se como sugestões de trabalhos futuros uma maior relação de análises tanto na casca *in natura* como nas desidratadas nas diferentes temperaturas utilizadas com a finalidade de avaliar os efeitos da temperatura de secagem aplicada sobre seus constituintes nutricionais.

Referências

Antunes, G.; Ferreira, A. P. S.; Puiatti, M.; Cecon, P. R. & Silva, G. C. C. (2014). Produtividade e qualidade de frutos de pepino africano em resposta à adubação nitrogenada. *Revista Ceres*, v. 61, n. 1, p. 141-146.

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

Araujo, W. D.; Goneli, A. L. D.; Corrêa, P. C.; Filho, C. P. H. & Martins, E. A. S. (2017). Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 3, p. 448-457,

Arslan, D. & Ozcar, M. M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT – Food Science and Technology*, v. 43, n. 7, p. 1121-1127.

Botelho, S. C. C.; Hauth, M. R.; Botelho, F. M.; Roncatto, G.; Wobeto, C. & Oliveira, S. S. (2019). Qualidade pós-colheita de frutos de maracujazeiro-amarelo colhidos em diferentes estádios de maturação. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 62, p. 1-8.

Castro, D. S.; Silva, L. M. M.; Moreira, I. S.; Sousa, F. C.; Silva, W.P. & Almeida, F. A. C. (2016). Análise e descrição matemática da secagem de polpa de taturubá (*Pouteriamacrophylla* (Lam.) *eyma.*) em camada fina. *ENGEVISTA*, v. 18, n. 2, p. 309-317.

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*, v. 31, n. 2, p. 392-403.

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*, v. 26, n. 1, p. 71-80.

Faria, R. Q.; Teixeira, I. R.; Devilla; I. A.; Ascheri, D. P. R. & Osvaldo Resende, O. (2012). Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 5, p. 57-583.

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*, v. 47, n. 6, p. 855-862.

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*, v. 20, n. 7, p. 672-677.

Gomes, N. H. F.; Neto, H. C. S.; Alves, J. J. L.; Rodovalho, R. S. & Sousa, C. M. (2017). Cinética de secagem de folhas de *Cymbopogon citratus*. *ENGEVISTA*, v. 19, n. 2, p. 328-338.

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

Jimam, N. S.; Wannang, N. N.; Omale, S. & Gotom, B. (2010). Evaluation of the hypoglycemic activity of *Cucumis metuliferus* (Cucurbitaceae) fruit pulp extract in normoglycemic and alloxaninduced hyperglycemic rats. *Journal Young Pharmacists*, v. 2, p. 384-387.

Jittanit, W. (2011). Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. *Kasetsart journal: natural science*, v. 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*, v. 45, n. 5, p. 891-898.

Martins, E. A. S.; Lage, E. Z.; Goneli, A. L. D.; Hartmann Filho, C. P. & Lopes, J. G. (2015). Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 238-244.

Martins, J. J. A.; Marques, J. I.; Santos, D. C. & Rocha, A. P. T. (2014). Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. *Bioscience Journal*. v. 30, n. 6, p. 1652-1660.

Meneses, V. P.; Silva, J. R. A.; Neto, J. F.; Rolim, H. O.; Araújo, A. L. M. & Lima, P. S. E. (2018). Subprodutos de frutas tropicais desidratados por secagem convectiva. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 13, n. 4, p. 472-482, 2018.

Moscon, E. S.; Martin, S.; Spehar, C. R.; Devilla, I. A. & Rodolfo Junior, F. (2017). Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* w.). *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 4, p. 318-328.

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*, v. 4, n. 1, p. 5-21.

NRC - *National Research Council*. Lost Crops of Africa. Volume III. Washington DC, The National Academies Press, 2008, 353p.

Resende, O.; Ferreira, L. U. & Almeida, D. P. (2010). Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vignaangularis*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 12, n. 2, p.171-178.

Rigueto, C. V. T.; Evaristo, L. M.; GeraldI, C. A. Q. & Covre, L. (2018). Influência da temperatura de secagem de uvaia (*Eugenia pyriformis*) em camada de espuma. *ENGEVISTA*, v. 20, n. 4, p. 537-547.

- Rodriguez, M. A. R.; Oderiz, M. L. V.; J.; Hernandez, J. L. & Lozano, S. J. (1992). Physical and Analytical Characteristics of the Kiwano. *Journal of food composition and analysis*, v. 5, p. 319-322.
- Santos, A. E.; Martins, G. M. V.; Canuto, M. F. C. S.; Segundo, J. E. D. V. & Almeida, R. D. (2016). Modelagem matemática para a descrição da cinética de secagem do fruto da palma (*Opuntia ficus indica*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 1-6.
- Santos, F. S; Leite, D. D. F.; Figueirêdo, R. M. F. & Queiroz, A. J. M. (2017). Modelagem matemática da cinética de secagem da romã. *Revista Espacios*, v. 38, n. 52, p. 27-37.
- Silva, D. C.; Lima, M. F.; Vélez, H. A. V. & Santana, A. A. (2017). Estudo da modelagem de cinética de secagem da polpa de cupuaçu na produção de biopolímeros. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v. 4, n. 3, p. 49-57.
- Sousa, K. A.; Resende, O.; Chaves, T. H. & Costa, L. M. (2011). Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 4, p. 883-892.
- Souza, A. D.; Pinto, P. M.; Borkoski, A. C.; Mezzacapa, F. L.; D'andrea, F.; Júnior, L. P. M. S. & Biato, M. (2006). Caracterização de frutos de *Cucumis metuliferus* na serra da Cantareira, São Paulo. *THESIS*, v. 5, p. 147-160.
- Storck, C. R.; Nunes, G. L.; Oliveira, B. B. & Basso, C. (2013) Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. *Ciência Rural*, v. 43, n. 3, p. 537-543.
- TACO - *Tabela brasileira de composição de alimentos*. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: UNICAMP/NEPA, 2011. 161 p. Disponível em: <http://www.unicamp.br/nepa/taco/tabela.php?ativo=tabela>. Acesso em: 07 de março de 2019.

Vidal, V. M.; Resende, O.; Bessa, J. F. V.; Morais, W. A.; Silva, L. A. & Virgolino, Z. Z. (2016). Adjustment of models and effective diffusivity in the drying of *Azadirachta indica* A. Juss. Leaves. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, v. 21, n. 4, p. 1-12.

Wannang, N. N.; Jimam N. S.; Omale, S.; Dapar, M. L. P.; Gyang, S. S. & Aguiyi, J. C. (2007). Effects of *Cucumis metuliferus* (Cucurbitaceae) fruits on enzymes and haematological parameters in a albino rats. *African Journal of Biotechnology*, v. 6, p. 2515-2518.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Sâmela Leal Barros - 8,33%
Gabriel Barbosa Câmara - 8,33%
Daniela Dantas de Farias Leite - 8,33%
Newton Carlos Santos - 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%
Marcela Nobre Oliveira - 8,33%
Ubieli Alves Araújo Vasconcelos - 8,33%
Aline Pacheco Albuquerque - 8,33%
Alexandre José de Melo Queiroz - 8,33%