



## **APLICAÇÃO DE MODELOS EMPÍRICOS PARA A CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA CAGAITA E DO MORANGO**

AMANDA P. DA MOTTA<sup>1\*</sup>, IANA H. M. L. VICENTE<sup>2</sup>, LUIZA T. SILVA<sup>2</sup>, BRUNA DE S. NASCIMENTO<sup>2</sup>, DOUGLAS J. NICOLIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências dos Alimentos

\*e-mail: amandpmotta@gmail.com

**RESUMO** - Para minimizar os processos de deterioração de determinados frutos e tornar possível seu consumo em qualquer período do ano, recomenda-se a aplicação de uma técnica de secagem, dentre elas, destaca-se aqui, a secagem via camada de espuma. A modelagem da cinética de secagem cumpre papel importante na condução deste processo uma vez que estabelece, de forma precisa, a relação da variação da umidade em função do tempo. Neste contexto, o objetivo do trabalho é modelar matematicamente a cinética de secagem em camada de espuma de cagaita e do morango para diferentes condições operacionais de temperatura de secagem, usando diferentes modelos empíricos, sendo eles: modelo de Dois Períodos, modelo de Page e o modelo de Midilli-Kucuk. Os ajustes dos modelos para os dados experimentais foram obtidos por regressão não linear, utilizando rotinas de programação desenvolvidas no *software* Scilab® versão 6.0.1. Após modelado, validou-se os parâmetros e os modelos estudados estatisticamente por meio do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk e pelo Critério de informação de Akaike. Com os resultados obtidos, o modelo de Dois Períodos mostrou-se mais representativo quando comparado aos outros modelos testados.

### **INTRODUÇÃO**

Um dos maiores desafios do mundo é produzir alimentos para uma população, a qual não para de crescer. Nesse sentido, o Brasil surge como uma das maiores forças produtoras mundiais, com mais de 150 milhões de hectares cultivados (MELONI, 2003).

O Brasil possui diversos biomas espalhados por seu território e, destaca-se aqui, a região do Cerrado brasileiro, sendo um dos mais importantes polos de produção de alimentos do país, contribuindo com mais de 25% da produção nacional de grãos alimentícios (AVIDOS; FERREIRA, 2000).

Dentre as várias espécies de frutos que existem no Cerrado, a cagaita é uma das que ganham destaque. A cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) é uma fruta exótica pertencente à família *Myrtaceae*. Ela é

considerada uma espécie de interesse econômico, principalmente devido ao uso de sua polpa. Em sua composição, estão presentes proteínas, lipídios, carboidratos e fibra dietética, além de vitaminas A e C e compostos fenólicos (ROESLER et al., 2007).

Além do seu consumo fresco, há inúmeras preparações típicas que utilizam o sabor da sua polpa. Esse uso é difundido entre os moradores do Cerrado, onde várias preparações são feitas a partir da polpa, especialmente na produção de sorvetes, geleias, doces, licores e também na medicina popular como antidiarreica (ALMEIDA; SILVA; RIBEIRO, 1987).

Em alguns alimentos, como a cagaita, sabe-se que o conteúdo de água é o principal fator causador da deterioração por microorganismos e alterações por reações químicas e enzimáticas. A diminuição desse conteúdo é um

modo de conservação do produto (CELESTINO, 2010).

Mesmo não sendo do cerrado, outra fruta que se destaca é o morango. O morango pertence à família *Rosaceae*, a qual é do tipo herbácea, rasteira e perene. Sua parte comestível é considerado um pseudofruto, o qual é vermelho, suculento e carnoso (FERLA et al., 2007). Seu cultivo se dá em grande parte de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Além do seu consumo *in natura*, sua polpa pode ser utilizada em vários processos industriais, tais como a fabricação de iogurtes, sucos, geleias, bolos e entre outras aplicações.

O morango possui um alto valor agregado, devido ao fato dele possuir valores nutricionais peculiares, pois ele contém compostos bioativos, polifenóis, vitaminas e minerais. Entre as substâncias que ele possui, os flavonoides, em especial as antocianinas, possuem uma característica especial para a regulação do metabolismo, sobretudo na prevenção de tumores e demais doenças (VENENCIO, 2010). Apesar de possuir esses valores nutricionais, o morango tem uma alta degradabilidade, pois possui, em média, 90-95% de água em seu interior, fazendo assim com que diminua seu tempo de prateleira, assim como ocorre com a cagaita.

A fim de aumentar a vida de prateleira desses frutos, bem como facilitar seu transporte e tornar possível o consumo em qualquer época do ano, recomenda-se a aplicação de um processo de secagem.

A secagem é uma operação unitária na qual observa-se os fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa. Durante o processo calor é transferido para o produto e um fluxo de massa é gerado devido a diferença de concentração existente entre o interior do alimento e o ambiente externo (WELT et al., 2007). Nesse sentido, o estudo do processo de secagem fornece informações relativas ao comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem (CORRÊA et al., 2003).

A secagem de produtos agroindustriais consiste na remoção da umidade excessiva contida no interior do seu produto por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a

manutenção de sua qualidade durante o armazenamento por longos períodos de tempo, aumentando o tempo de vida útil do alimento (AFONSO; CORRÊA, 1999). Além disso, a secagem resulta em uma redução de volume do produto final, o que acarreta uma diminuição nos custos de embalagem, bem como no seu transporte e armazenamento.

Dentre os diversos métodos de secagem, destaca-se aqui o realizado em camada de espuma. Neste processo, alimentos líquidos são transformados em espumas estáveis, através de agitação e incorporação de agentes espumantes, e posteriormente submetidos à secagem (SEGURA et al., 1990; BERISTAIN et al., 1991). Uma das vantagens desse processo encontram-se aplicações de menores temperaturas durante o processo de secagem, quando comparada à convencional, diminuindo, assim, o seu tempo de operação.

Com o intuito de descrever os fenômenos que acontecem durante a secagem, a modelagem matemática da cinética de secagem tem despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais variados produtos. A modelagem da cinética de secagem cumpre papel importante na condução deste processo uma vez que estabelece, de forma precisa, a relação da variação da umidade em função do tempo. Isto permite que o processo possa ser representado por uma equação matemática e, também, que sejam ajustados parâmetros que caracterizem a cinética em função de suas principais variáveis. Isto evita, por exemplo, o levantamento de dados experimentais de secagem sempre que se deseja analisar este processo para um determinado material (DEFENDI et al., 2016; PINTO; LAGE, 2001).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é modelar matematicamente via modelos empíricos a cinética de secagem em camada de espuma de cagaita e do morango para diferentes condições operacionais de temperatura de secagem.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Dados Experimentais

Os dados experimentais utilizados para cinética de secagem, umidade em função tempo de secagem da cagaita e do morango foram disponibilizados pela Universidade Federal de

Lavras – UFLA. Esses dados foram obtidos via secagem em camada de espuma durante a Iniciação Científica e Trabalho de Conclusão de Curso das discentes Iana Helena Matos Leal Vicente e Luiza Teixeira, do curso de Engenharia de Alimentos, orientadas pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Bruna de Souza Nascimento.

### Modelagem Matemática

Com posse dos dados experimentais, foram ajustados modelos de cinética de secagem para dados de umidade em função do tempo, para diferentes temperaturas de secagem da espuma da cagaita e do morango. Posteriormente, modelou-se matematicamente o processo da cinética de secagem da cagaita e do morango, por meio de modelos empíricos. Os modelos utilizados foram: modelo de Dois Períodos (EFREMOV, 2013), modelo de Page (1949) e o modelo de Midilli-Kucuk (2002). As Equações (1), (2) e (3), mostram as equações que definem cada modelo, respectivamente. Todas as simulações foram realizadas no *software* Scilab®, versão 6.0.1.

$$X = X_i - N_0 \left[ t - \left( t_f - \frac{X_i - X_e}{N_0} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{N_0 \sqrt{\pi}}{2} \frac{(t_f - t)}{N_0 t_f - X_i + X_e} \right) \right] \quad (1)$$

$$X = X_e + (X_i - X_e) \exp(-k_P t^{n_P}) \quad (2)$$

$$X = X_e + (X_i - X_e) a \exp(-k_M t^{n_M}) + bt \quad (3)$$

### Ajuste dos Parâmetros

Os parâmetros dos modelos foram ajustados pelo método de Levenberg-Marquardt (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963), por meio de regressão não linear, o qual tem o intuito de minimizar uma função-objetivo, que é definida como o quadrado da diferença entre os valores calculados por um modelo e os valores observados experimentalmente. O comando utilizado pelo *software* Scilab® versão 6.0.1 que inclui esse método foi o “lsqrsolve”. A Equação (4) apresenta a função objetivo que foi minimizada.

$$\Phi = \sum_{i=0}^N (X_{cal}^i - X_{exp}^i)^2 \quad (4)$$

Após, utilizou-se métodos estatísticos para a avaliação do melhor modelo. Os testes

realizados foram: Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965), com 95% de significância, e o Teste de Critério de Informação de Akaike (AKAIKE, 1973). A Equação (5) apresenta o cálculo de  $\Delta AIC$  para a comparação dos modelos.

$$\Delta AIC = N_e \ln \left[ \frac{\bar{\sigma}_1^2}{\bar{\sigma}_2^2} \right] + 2(N_{P_1} - N_{P_2}) \quad (5)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados Obtidos para a Cagaita

**Ajuste dos parâmetros:** Para o ajuste dos parâmetros de cada modelo, utilizou-se das condições operacionais de secagem, como as condições de umidade inicial e umidade de equilíbrio, ambas em base úmida, para as temperaturas de 40, 60 e 80°C. A Tabela 1 nos mostra, resumidamente, todos os parâmetros obtidos para os três modelos estudados na secagem da cagaita via camada de espuma.

**Desempenho dos modelos:** A Figura 1 apresenta a comparação do desempenho dos três modelos utilizados neste trabalho, os modelos de Dois Períodos, Page e Midilli-Kucuk, com dados experimentais de umidade da cagaita seca em camada de espuma, em função da temperatura de 40°C.

Figura 1: Comparação do desempenho dos três modelos para os dados experimentais da cagaita para 40°C

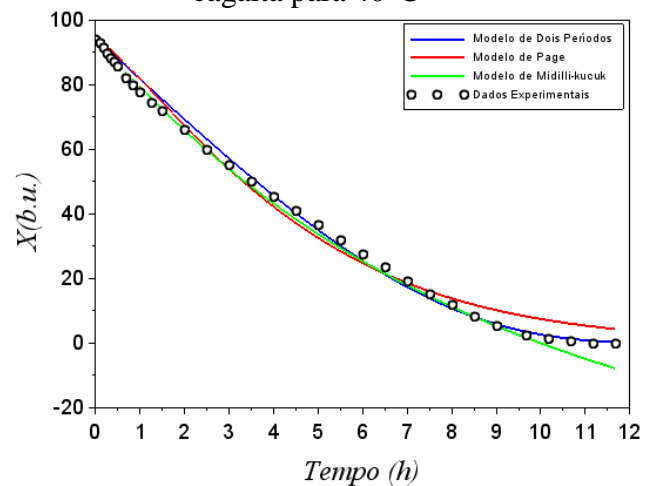


Tabela 1: Parâmetros obtidos para os modelos de Dois Períodos, Page e Midilli-Kucuk

T (°C)	Dois Períodos		Page		Midilli-Kucuk			
	N <sub>0</sub> (h <sup>-1</sup> )	t <sub>f</sub> (h)	k <sub>p</sub> (h <sup>-1</sup> )	n <sub>p</sub>	a	b	k <sub>M</sub> (h <sup>-1</sup> )	n <sub>M</sub>
40	13,15	12,99	0,14	1,26	0,99	-0,02	0,14	1,06
60	53,96	3,39	0,75	1,40	0,98	-0,01	0,70	1,44
80	81,08	1,63	1,78	1,51	0,99	-0,06	1,44	1,40

É nítida a menor capacidade descritiva dos modelos de Page e Midilli-Kucuk, principalmente na região da passagem do estado transiente da secagem (altas taxas de transferência de massa) para o estado estacionário (taxas de transferência de massa praticamente nulas). Pode-se observar, também, que os dados experimentais são bem descritos por quase toda a curva do modelo de Dois Períodos (curva azul) quando comparado com os outros, confirmando um melhor ajuste deste.

Para avaliar a qualidade dos ajustes dos modelos, foi feito o teste de Shapiro-Wilk com nível de confiança de 95%, conforme descrito no materiais e métodos.

Esse teste avalia se os resíduos entre os valores calculados pelo modelo e os dados experimentais fazem parte de uma distribuição normal em torno da média zero. Se isto acontecer, significa que a maioria dos resíduos são muito próximos ou exatamente zero, o que é desejável. A distribuição dos resíduos em torno da média zero indica que o modelo se adéqua satisfatoriamente aos dados experimentais, apresentando poucos desvios entre os valores calculados e os valores obtidos experimentalmente. Para isto, é necessário que valor-p do teste seja maior ou igual à 0,05 (SACULINGGAN; BALASE, 2013; SHAPIRO; WILK, 1965).

Observando os resultados obtidos, pode-se perceber que o teste para o modelo de Page falha para a temperatura de 40°C, onde resultou em um valor-p igual à 0,02, isto indica que nestas temperaturas o modelo não se adequou tão bem aos dados experimentais e apresentou desvios que podem comprometer a descrição dos mesmos.

Os baixos valores obtidos de MSE para o modelo de Dois Períodos corroboram a qualidade do ajuste do modelo aos dados experimentais quando comparado aos outros modelos.

A Tabela 2 apresenta os valores-p calculados pelo teste de Shapiro-Wilk e os valores da média dos resíduos quadráticos (MSE).

Tabela 2: Valores-p e MSE para os ajustes aos dados da cagaita seca em camada de espuma

T (°C)	Dois Períodos		Page		Midilli-Kucuk	
	valor-p	MSE	valor-p	MSE	valor-p	MSE
40	0,17	4,70	<b>0,02</b>	11,84	0,67	2,41
60	0,32	0,38	0,10	2,88	0,42	1,71
80	0,36	0,37	0,72	4,77	0,60	1,19

Para a confirmação do melhor modelo que se ajustasse aos dados experimentais, optou-se pelo teste do Critério de Informação de Akaike (Akaike Information Criterion – AIC, (AKAIKE, 1973)). O teste é adequado para a escolha do melhor modelo para o caso em que um é mais complexo, e o outro é mais simples. Outro critério é que os modelos que estão sendo avaliados sejam modelos que possuam o mesmo conjunto de dados experimentais (BURNHAM; ANDERSON, 2002; MOTULSKY; CHRISTOPOULOS, 2003). A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para o teste de Akaike. A comparação por meio do teste de Akaike foi feita somente entre os modelos de Dois Períodos e de Midilli-Kucuk, visto que os modelos de Page e de Midilli-Kucuk apresentaram similaridade quando aplicados aos dados de secagem da espuma de cagaita.

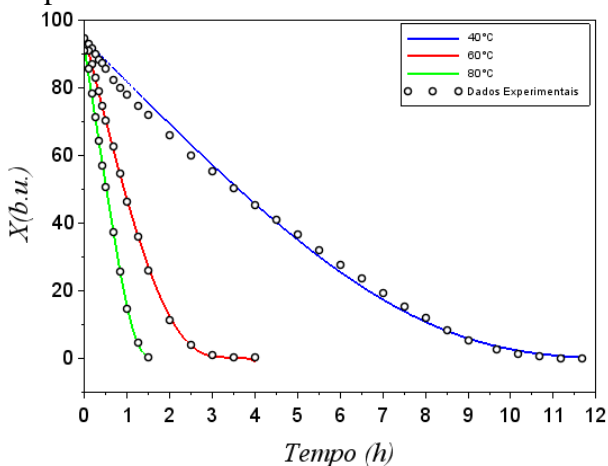
Tabela 3: Teste para o Critério de Informação de Akaike

T (°C)	ΔAIC	
	Modelo de Dois Períodos	Modelo de Midilli-Kucuk
40	19,6299	-19,6299
60	-27,0812	47,4470
80	-15,3388	34,2368

Como é possível observar na Tabela 3, os valores do teste de Akaike foram menores para o modelo de Dois Períodos para as temperaturas de 60 e 80 °C e os valores de  $\Delta AIC$  foram negativos para elas. Isto indica que o modelo de Dois Períodos tem maior probabilidade de ser o modelo mais adequado para representar o conjunto de dados experimentais considerado para as temperaturas de 60 e 80 °C. Embora o teste de Akaike sugira que o modelo de Midilli-Kucuk represente melhor os dados na temperatura de 40 °C, é possível observar pela Figura 1 que este resultado se deve à maior aproximação do modelo aos dados na região altamente transiente da secagem. Após a transição para a região estacionária, o modelo de Midilli-Kucuk perde eficiência e prevê, inclusive, valores negativos para a umidade. Este fato possibilita afirmar que o modelo de Dois Períodos é o mais indicado para toda a faixa de temperaturas abordadas experimentalmente neste trabalho.

A Figura 2 apresenta os dados experimentais da cagaita em função do tempo para o modelo de Dois Períodos considerando as três temperaturas estudadas. Como é possível observar, este modelo apresentou um bom ajuste aos dados experimentais para as três temperaturas.

Figura 2: Modelo de Dois Períodos e dados experimentais da cagaita em função do tempo



A Figura 2 também mostra que quando a cagaita foi submetida à uma temperatura de 40 °C, ela atingiu sua umidade de equilíbrio em aproximadamente 12 horas de secagem. Para 60 e 80 °C, obteve-se um tempo de secagem de aproximadamente de 4 e 1,5 horas,

respectivamente. Isso se dá pelo fato de que é necessário mais tempo para uma menor quantidade de energia aplicada ao sistema (40 °C) e menos tempo para quando se há uma maior quantidade de energia.

### Resultados Obtidos para o Morango

Ajuste dos parâmetros: Como mencionado anteriormente, o modelo de Dois Períodos se ajustou melhor para o estudo da secagem da cagaita em camada de espuma. Sendo assim, optou-se por utilizar o mesmo modelo para os dados experimentais da secagem do morango em camada de espuma.

Para o ajuste dos parâmetros do modelo de Dois Períodos, utilizou-se das condições operacionais de secagem, como as condições de umidade inicial e umidade de equilíbrio, ambas em base úmida, para as temperaturas de 60, 70 e 80°C.

A Tabela 4 mostra resumidamente todos os parâmetros obtidos para o modelo de Dois Períodos para a secagem do morango via camada de espuma.

Tabela 4: Parâmetros obtidos para o modelo de Dois Períodos

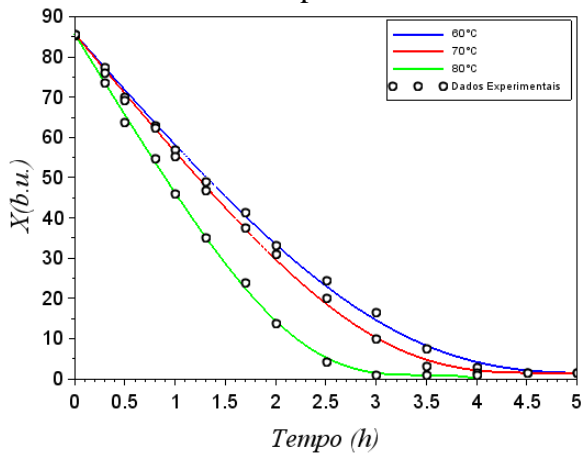
Dois Períodos		
T (°C)	$N_0$ (h <sup>-1</sup> )	$t_f$ (h)
60	29,03	5,32
70	30,00	4,66
80	40,86	3,45

Desempenho dos modelos: A Figura 3 mostra o comportamento dos dados experimentais do morango em função do tempo, para o modelo de Dois Períodos, n as três temperaturas de 60, 70 e 80°C. Como é possível observar, o modelo proposto teve um bom ajuste aos dados experimentais para as três temperaturas, correlacionando-se muito bem com o comportamento experimental.

Também é possível observar que os tempos para que as umidades de equilíbrio fossem atingidas para 60, 70 e 80 °C foram de 5, 5 e 4 horas, respectivamente. Nota-se que, para menores temperaturas, é necessário um tempo maior para atingir o estado de equilíbrio e, para temperaturas maiores, um tempo menor. Pode-se observar que, para todas as temperaturas, a umidade foi reduzida rapidamente no início e, posteriormente,

diminuiu lentamente à medida que aumentava o tempo de secagem.

Figura 3: Modelo de Dois Períodos e dados experimentais do morango em função do tempo



A Tabela 5 apresenta os valores-p calculados pelo teste de Shapiro-Wilk e os valores da média dos resíduos quadráticos (MSE) para o estudo do morango.

Sabe-se que valores-p calculados pelo teste que sejam maiores ou iguais a 0,05 confirmam que os resíduos fazem parte de uma distribuição normal em torno de zero, o que é desejado uma vez que quanto mais próximo de zero forem os resíduos, mais o modelo se aproxima dos resultados experimentais. Logo, nota-se que para todas as temperaturas houve um valor-p maior que 0,05. No que diz respeito ao MSE, obteve-se valores baixos, o que permite concluir que os resultados dos ajustes foram satisfatórios para todas as temperaturas.

Tabela 5: Valores-p e MSE para os ajustes aos dados do morango seco em camada de espuma

Modelo de Dois Períodos		
T (°C)	valor-p	MSE
60	0,2377	1,284
70	0,5462	1,068
80	0,8103	0,833

Com base na revisão na literatura, nota-se que a maioria dos modelos que melhor se ajustaram para os dados da cinética da secagem do morango, sendo ele secado em camada de espuma ou não, foram os modelos de Page e Logarítmico. Sendo assim, observa-se que o modelo proposto nesse trabalho (modelo de

Dois Períodos) é robusto quando comparado a outros estudos.

## CONCLUSÃO

No presente trabalho foram abordados modelos matemáticos para a modelagem da cinética de secagem da cagaita e do morango, por meio de modelos empíricos, sendo eles: modelo de Dois Períodos, modelo de Page e modelo de Midilli-Kucuk.

Para os dados experimentais da secagem de cagaita via camada de espuma, foi possível observar que o modelo que melhor teve capacidade descritiva foi o modelo de Dois Períodos, quando comparado com os modelos tradicionais usados na literatura.

O teste de Akaike realizado forneceu valores menores para o modelo de Dois Períodos nas temperaturas de 60 e 80 °C e valores de  $\Delta AIC$  negativos para elas. Isto confirma que o modelo de Dois Períodos tem maior probabilidade de ser o modelo mais adequado para representar o conjunto de dados experimentais para esse caso.

Já os testes realizados para os dados experimentais de secagem do morango via camada de espuma mostraram-se eficientes quando ajustados com o modelo de Dois Períodos, mostrando que o modelo estudado é mais adequado quando comparado com outros tradicionalmente usados na literatura para esse tipo de fruta.

## NOMENCLATURA

X	Teor de umidade do produto em base seca ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{sólido seco}}$ ) ou em base úmida ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{total}}$ )
t	Tempo de secagem (h)
T	Temperatura (°C)
$X_e$	Teor de umidade de equilíbrio do produto em base seca ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{sólido seco}}$ ) ou em base úmida ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{total}}$ )
$X_i$	Teor de umidade inicial do produto em base seca ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{sólido seco}}$ ) ou em base úmida ( $\text{kg}_{\text{água}}/\text{kg}_{\text{total}}$ )



k	Constante cinética de secagem (min <sup>-1</sup> )
k <sub>0</sub>	Constante cinética de secagem (min <sup>-1</sup> )
k <sub>1</sub>	Constante cinética de secagem (min <sup>-1</sup> )
a	Coefficiente do modelo
b	Coefficiente do modelo
c	Coefficiente do modelo
n	Coefficiente do modelo
t <sub>f</sub>	Tempo final de secagem para o modelo de Dois Períodos (h)
N <sub>0</sub>	Taxa de secagem inicial para o modelo de Dois Períodos (h <sup>-1</sup> )
k <sub>P</sub>	Constante cinética de secagem do modelo de Page (h <sup>-1</sup> )
n <sub>P</sub>	Parâmetro do modelo de Page
k <sub>M</sub>	Constante cinética de secagem do modelo de Midilli-Kucuk (h <sup>-1</sup> )
n <sub>M</sub>	Parâmetro do modelo de Midilli-Kucuk
N <sub>e</sub>	Número de dados experimentais
N <sub>P1</sub>	Número de parâmetros do modelo 1
N <sub>P2</sub>	Número de parâmetros do modelo 2
φ <sub>i</sub>	Valor da função objetivo ao fim do ajuste dos parâmetros

## REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. Second International Symposium on Information Theory, p. 267–281, 1973.
- ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A.; RIBEIRO, J.F. Aproveitamento Alimentar de Espécies Nativas do Cerrado: Ariticum, Baru, Cagaita e Jatobá. Planaltina, DF: Embrapa, 1987.
- AVIDOS, M. F. D.; FERREIRA, L.T. Frutos dos Cerrados. Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, v.3, n.15, p.36-41, 2000.
- BERISTAIN, C. I.; CORTÉS, R.; CASILLAS, M. A.; DÍAZ, R. Obtención de jugo de piña en polvo por el método de secado por espumas. Archivos Latino americanos de Nutrición, v.41, n.2, p.238-245, 1991.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2nd Edition ed. Colorado: Springer, 2002. v. 172p. 488.
- CELESTINO, S. M. C. Princípio de Secagem de Alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.
- CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos Parâmetros de Secagem em Camada Delgada de Sementes de Milho Doce (Zea mays L.). Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.2, p.110-119, 2003.
- DEFENDI, R.O.; NICOLIN, D.J.; PARAÍSO, P.R.; JORGE, L.M.M. (2016). Assessment of the initial moisture content on soybean drying kinetics and transport properties. Dry Technol. vol. 34, p. 360–371.
- EFREMOV, G. Describing of Generalized Drying Kinetics with Application of Experiment Design Method. Technical Sciences: Moscow 16(4)2013, 14, 309-322, 2013.
- FERLA, N. J.; MARCHETTI, M. M.; GONÇALVES, D. Ácaros predadores (Acari) associados à cultura do morango (Fragaria sp, Rosaceae) e plantas próximas no Estado do Rio Grande do Sul. Biota Neotropica. v 7. p. 1-8, 2007.
- AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de Modelos Matemáticos para Descrição da Cinética de Secagem em Camada Fina de Sementes de Feijão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.3, p.349353, 1999.

- LEVENBERG, K. A method for the solution of certain problems in least squares. *Quart. Applied Math.*, v. 2, p. 164–168, 1944.
- MARQUARDT, D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, v. 11, n. 2, p. 431–441, jun. 1963.
- MELONI, P. L. S. Desidratação de Frutas e Hortaliças. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003. 87p. Disponível em: . Acesso em: 17 mar. 2018.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying Technology*, v.20, p.1503-1513, 2002.
- MOTULSKY, H.; CHRISTOPOULOS, A. *Fitting Models to Biological Data using Linear and Nonlinear Regression*. 1st editio ed.[s.l.] Oxford University Press, 2003. p. 352.
- PAGE, C. Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers. M.S. Thesis, Purdue University, 1949.
- PINTO, J.C.; LAGE, P.L. DA C. (2001). *Métodos Numéricos em Problemas de Engenharia Química*. 1st ed. E-papers Serviços Editoriais Ltda, Rio de Janeiro.
- ROESLER, R.; MALTA, L.G.; CARRASCO, L.C.; HOLANDA, L.B.; SOUZA, C.A.A.S.; & PASTORE, G.M., (2007). Atividade Antioxidante de Frutas do Cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, 53 - 60.
- SACULINGGAN, M.; BALASE, E. A. Empirical Power Comparison Of Goodness of Fit Tests for Normality In The Presence of Outliers. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 435, p. 012041, 2013.
- SEGURA, E.; MONROY, L. A.; MANRIQUE, G. Aplicacion de la tecnologia de deshidratacion por el metodo de secado de espumas (Foam-mat) en jugos de frutas tropicales II (naranja, piña, mora y maracuyá). *Revista Colombiana de Ciencias Quimico-Farmacéuticas*, n.18, p.47-52, 1990.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, v. 52, p. 591–611, 1965.
- VENENCIO, G. Avaliação da degradação de pelargonidina durante a secagem de morangos. (Trabalho de conclusão de graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.
- WELTY, J. R.; WICKS, C. E.; WILSON, R. E.; RORRER, G. R. (2007), *Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer*. 5. New York: John Wiley & Sons.