

Comportamento da secagem de sementes de melão (*Cucumis Melo L.*) em camada fina usando modelos empíricos**Behavior of the thin layer drying of melon seeds (*Cucumis Melo L.*) using empirical models**

DOI:10.34117/bjdv6n8-725

Recebimento dos originais:08/07/2020

Aceitação para publicação:31/08/2020

Raquel Alves de Medeiros

Mestranda em Ciências Naturais e Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande -UFCG, campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail: raquel.medeiros113@gmail.com

Vera Solange de Oliveira Farias

Doutora em Engenharia de Processos

Instituição: Professora Titular, Universidade Federal De Campina Grande -UFCG, campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail: vera.solange6@gmail.com

Thamires Mabel Queiroz de Oliveira

Mestre em Ciências Naturais e Biotecnologia pela UFCG

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande -UFCG, campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail: tham.iresmabel@hotmail.com

Aluizio Freire da Silva Júnior

Doutor em Engenharia de Processos

Instituição: Professor Adjunto nível IV, Centro de Educação e Saúde - CES, UFCG, Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail: aluiziofsj.ces@gmail.com

Amélia Ruth Nascimento Lima

Mestranda em Ciências Naturais e Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande -UFCG, campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail:ameliaruth.lima@gmail.com

Maria Tereza Lucena Pereira

Mestranda em Ciências Naturais e Biotecnologia

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande -UFCG, campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail: mariatereza-lucena@hotmail.com

Célia Maria Rufino Franco

Doutora em Engenharia de Processos

Instituição: Professora Adjunto nível III Universidade Federal De Campina Grande -UFCG,
campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail:celiarufino@.ufcg.edu.br

Jair Stefanini Pereira de Ataíde

Doutor em Engenharia de Processos

Instituição: Professor Adjunto nível III Universidade Federal De Campina Grande -UFCG,
campus Cuité-PB

Endereço: Sítio Olho D'água da Bica, Zona Rural, Cuité - PB, CEP: 58175-000

E-mail: jair.stefanini@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

O melão (*Cucumis melo L.*) possui elevada expressão econômica, sendo cultivado em várias regiões do mundo devido a sua adaptação a diversos solos e climas. Apesar disso uma grande quantidade da fruta é desperdiçada. Normalmente, as partes não comestíveis do melão, cascas e sementes são completamente descartadas durante o processamento e consumo habitual, embora evidências científicas têm relatado benefícios de sementes de melão. Nessa perspectiva, objetivou-se nesse trabalho avaliar o processo de secagem dessas sementes através de modelos empíricos e determinar por meio de dados experimentais as curvas de secagem para a temperatura de 80 °C. Observando os resultados obtidos e os parâmetros estatísticos (qui-quadrado e coeficiente de determinação) utilizados na análise dos resultados, verifica-se que a equação de Page foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais. Assim sendo, esse modelo foi utilizado para obter a taxa de secagem, através da qual, foi observado a existência de um período de indução para a temperatura estudada. O fim deste período e o início do período de taxa decrescente ocorreram próximos aos 11 min.

Palavras-Chave: Cinética de secagem, Equação de Page, Sementes de melão.

ABSTRACT

The melon (*Cucumis melo L.*) has high economic expression, being cultivated in several regions of the world due to its adaptation to diverse soils and climates. Despite this a large amount of this fruit is wasted. Usually the inedible parts of melon, bark and seeds are completely discarded during processing and usual consumption, although scientific evidence has reported benefits of melon seeds. In this perspective, the objective of this work was to evaluate the drying process of these seeds through empirical models and to determine by means of experimental data the drying curves for the temperature of 80°C. Observing the results obtained and the statistical parameters (chi-square and coefficient of determination) used in the analysis of the results, it is verified that the Page Equation was the one that best fit the experimental data. Thus, this model was used to obtain the drying rate, through which it was observed the existence of an induction period for the temperature studied. The end of this period and the beginning of the period of falling rate occurred near 11 min.

keywords: Drying kinetics, Page Equation, Melon seeds.

1 INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.), pertencente à família das cucurbitáceas e ao grupo *Cantalupensis*, é uma fruta originária da Ásia e largamente cultivado nas regiões tropicais, sendo bastante apreciado por seu sabor, aroma e valor nutritivo. O Brasil é atualmente um dos maiores produtores de melão do mundo, sendo a Região Nordeste responsável por 95% da produção nacional, principalmente o estado do Rio Grande do Norte que concentra a maior parte da produção total brasileira (Ferrari et al., 2005; Madeira, 2017). Esse fruto contém grandes quantidades de sementes que, apesar de apresentarem potencial nutritivo, constituem material de descarte em indústrias de alimentos e no consumo doméstico (Malacriada et al. 2007; Madeira, 2017). A alta qualidade na produção de sementes de cucurbitáceas depende diretamente do estágio de maturação do fruto (Donato et al., 2015). As sementes de melão possuem em sua composição ácidos graxos similar ao óleo de soja. Os ácidos graxos insaturados, oléico e linoleico, correspondem a 85% dos ácidos graxos totais e representam 99% dos ácidos graxos insaturados (Becker & Krüger). Maran & Pryia (2015), evidências científicas tem relatado benefícios de sementes de melão, as quais impulsionam a imunidade, reduz riscos cardiovasculares, auxilia no controle dos níveis de gordura no sangue e contém nutrientes essenciais para cicatrização de feridas. Segundo Barbosa (2013), a farinha da semente de melão apresentou teor elevado de cálcio, podendo ser utilizado na elaboração de novos produtos enriquecidos com esse mineral. Para a elaboração de novos produtos, é necessário realizar previamente um processo de secagem das sementes de melão. Assim, torna-se importante pesquisar e estabelecer as condições ótimas de secagem para que se tenha um produto final com qualidade. Essas condições incluem a temperatura do ar de secagem, bem como o tempo de duração do processo. Apesar de toda essa importância, as pesquisas sobre a secagem das sementes de melão ainda são incipientes, principalmente com relação a modelagem matemática. Na literatura pesquisada, poucos trabalhos foram encontrados sobre a descrição da cinética de secagem de sementes de melão. Madeira (2017), em suas pesquisas sobre agregação de valor ao resíduo de melão, concluiu que a temperatura influenciou significativamente na resposta do rendimento das farinhas de sementes de melão, sendo o ensaio de 80 °C por 24 h o que apresentou melhor rendimento. Assim, objetivou-se com esse trabalho descrever o processo de secagem das sementes de melão amarelo, variedade *reticulatus*, utilizando modelos empíricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DADOS EXPERIMENTAIS DA SECAGEM DE SEMENTES DE MELÃO

As sementes de melão amarelo analisadas neste estudo são provenientes de melões adquiridos na feira livre do município de Cuité- PB. As sementes foram coletadas manualmente com o auxílio de uma colher de alumínio. Após a coleta, as sementes foram distribuídas em um recipiente previamente higienizado para que fosse realizado o processo de separação dos resíduos do fruto proveniente da coleta. Posteriormente, foram higienizadas em água corrente até que restasse o mínimo possível de resíduo da polpa do melão, e submersas em solução clorada 150 ppm por 15 minutos. Em seguida, foram escorridas com auxílio de uma peneira onde permaneceram por um período de aproximadamente 20 minutos e as massas foram obtidas usando uma balança digital da marca BIOPRECISA, modelo JH2102. As amostras de sementes foram alocadas em três cestos de metal (previamente pesados) e levadas a uma estufa de circulação forçada de ar (AMERICAN LAB modelo AL 102/480), à temperatura de 80°C. Essa temperatura foi escolhida com base nas pesquisas reportadas na literatura (Pereira, 2014; Madeira, 2017). Cada cesto continha aproximadamente 30 g do produto. Durante o processo de secagem as amostras das sementes em triplicata eram retiradas em instantes de tempo pré-estabelecidos, pesadas e recolocadas na estufa. Esse procedimento foi repetido até que a massa de equilíbrio foi alcançada. Finalmente, a temperatura da estufa foi ajustada para 105°C e as amostras foram deixadas nessa mesma estufa por 24 h, a fim de determinar a massa seca.

O procedimento de retirada e higienização das sementes foi realizado no laboratório de Análise Sensorial de Alimentos (LASA) e o experimento de secagem foi realizado no Laboratório de Bromatologia (LABROM), ambos do Centro de Educação e Saúde (CES), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Cuité-PB.

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA E CINÉTICA DE SECAGEM

A utilização de modelos matemáticos que consideram as características do sistema de transferência de massa em alimentos é uma ferramenta cada vez mais explorada pelos pesquisadores, sendo de grande utilidade para o cálculo do desenvolvimento eficiente de cada análise, tendo em vista a melhoria no processamento, redução de perdas e aumento da qualidade do produto final (DANTAS et al. 2011). Entre os modelos usados para a descrição da cinética de secagem, as equações empíricas se destacam entre os mais utilizados. Um modelo empírico consiste numa correlação direta entre o teor de umidade médio e o tempo de secagem.

Os dados experimentais obtidos para a cinética de secagem foram usados na forma adimensional, dada pela equação:

$$\bar{X}(t) = \frac{\bar{X}(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (1)$$

onde X_{eq} (b.s.) é o teor de umidade de equilíbrio, $\bar{X}(t)$ (b.s.) é o teor de umidade médio no tempo t (s) e X_i (b.s.) é o teor de umidade inicial.

Deste modo, foram testados seis modelos encontrados na literatura a fim de verificar aquele que melhor descreveria as cinéticas de secagem das sementes de melão. Os modelos testados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1-Modelos para descrever as cinéticas de secagem.

Modelo	Nome	Expressão	Referência
1	Henderson e Pabis	$X^* = ae^{-bt}$	Diamante et al. (2010)
2	Logaritmica	$X^* = ae^{-bt} + c$	Pirone et al. (2014)
3	Lewis	$X^* = e^{-at}$	Kaleta e Górnicki (2010)
4	Page	$X^* = e^{-at^b}$	Diamante et al. (2010)
5	Silva et alii	$X^* = e^{-at - b\sqrt{t}}$	Silva et al. (2013)
6	Wang e Singh	$X^* = 1 + at + bt^2$	Kaleta e Górnicki (2010)

em que: a e b são parâmetros de ajuste; t : tempo (em minutos); M^* : é a razão de umidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

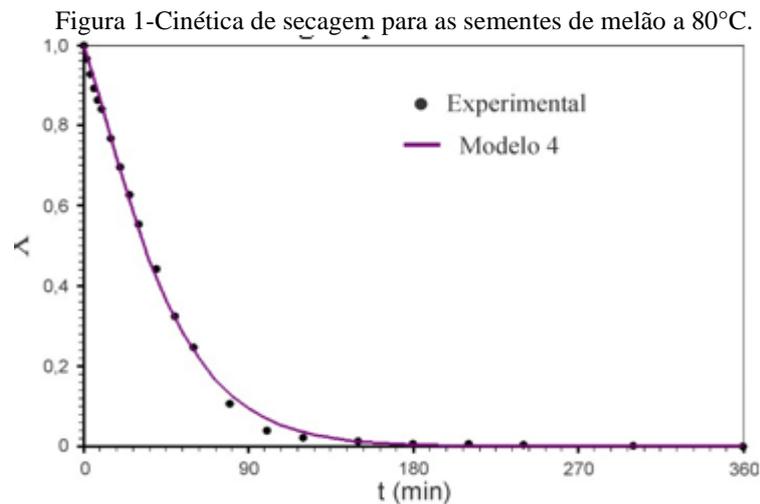
As equações apresentadas na Tabela 1 foram ajustadas através do *software LabFit* (Silva e Silva, 2009), e a seleção do melhor modelo foi feita através dos indicadores estatísticos: coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2). Os resultados dos ajustes são apresentados na Tabela 2

Tabela 2-Resultados dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais.

T(°C)	Modelo	a	b	c	R^2	χ^2
70	1	1,03	$2,29 \times 10^{-2}$	-	0,994	$1,98 \times 10^{-2}$
	2	1,05	$2,17 \times 10^{-2}$	$-2,29 \times 10^{-2}$	0,995	$1,68 \times 10^{-2}$
	3	$2,17 \times 10^{-2}$	-	-	0,995	$2,53 \times 10^{-2}$
	4	$9,44 \times 10^{-3}$	1,23	-	0,999	$4,74 \times 10^{-3}$
	5	$2,73 \times 10^{-2}$	$-3,29 \times 10^{-2}$	-	0,996	$1,21 \times 10^{-2}$
	6	$1,07 \times 10^{-2}$	$2,38 \times 10^{-5}$	-	0,917	$3,96 \times 10^{-1}$

Observando os indicadores estatísticos na Tabela 2, pode-se concluir que o melhor modelo para descrever as cinéticas de secagem nas temperaturas de 60 e 85°C foi o modelo 4, que corresponde a Equação de Page (Diamante et al. (2010)). Modelo esse, amplamente utilizado na área de modelagem matemática. Duarte et al., 2020 ao estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem em berinjelas expostas a diversas temperaturas, também constatou que a equação de page representava de forma satisfatória o processo de secagem. Uma forma modificada da equação de Page também se mostrou adequada para a descrição da secagem de resíduos agro-industriais de abacaxi (Filho et al., 2020). Nessa pesquisa, Leite et al. (2020) comparou uma forma modificada da equação de Page ao primeiro termo da solução analítica da equação de difusão (caso de uma parede infinita), e a equação de Page modificada se mostrou a mais adequada.

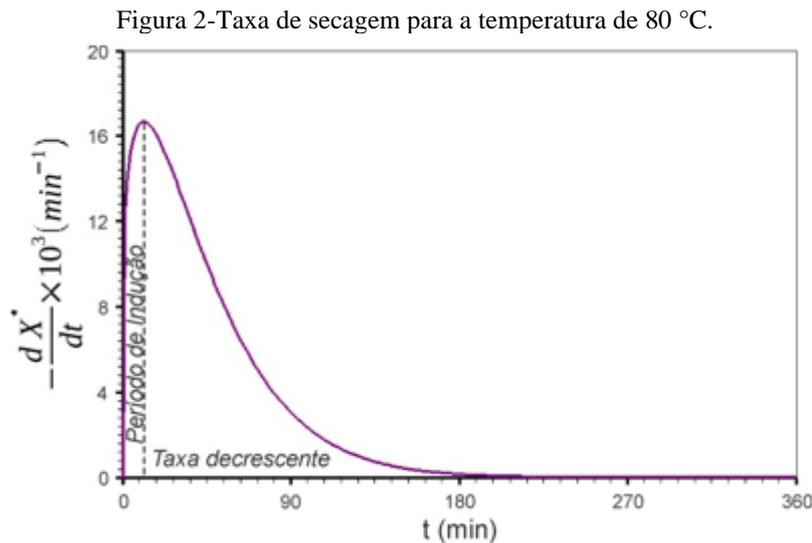
Deste modo, esse modelo foi usado para descrever a secagem das sementes de melão na temperatura de 80°C. O gráfico de ajuste pode ser observado na Figura 1, que confirma os indicadores estatísticos apresentados na Tabela 1, mostrando um bom ajuste do Modelo 4 aos dados experimentais.



A fim de obter a taxa de secagem na temperatura estudada, a expressão do modelo 4 foi derivada em função do tempo e a seguinte expressão foi obtida:

$$\frac{dX^*}{dt} = -abt^{b-1}e^{-at^b}, \quad (2)$$

A partir da Equação (2), foi obtida a taxa de secagem para a temperatura de 80°C. O gráfico dessa taxa é apresentado na Figura 2.



Através da Figura 2 é possível observar que a taxa de secagem apresenta um período inicial crescente, um período de indução de 11 min, aproximadamente. Embora os períodos de indução e de taxa constante sejam conhecidos, a maioria dos trabalhos de secagem encontrados na literatura não analisa tais períodos e consideram o processo totalmente isotérmico. No entanto, a existência desses períodos deve ser primeiramente descartada para então serem usados modelos como os difusivos.

4 CONCLUSÃO

Entre os modelos usados para descrever as cinéticas de secagem, o que apresentou os melhores indicadores estatísticos foi o modelo 4 (Modelo de Page). O mesmo modelo foi então utilizado para obter a taxa de secagem.

O estudo da taxa de secagem demonstrou a existência de um período de indução, o que implica que o processo não foi isotérmico em todo o período estudado. Esta observação indica a necessidade de analisar a existência de períodos de indução ou de taxa constante, antes de considerar que todo o processo ocorreu em taxa decrescente.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, K. V. R. S. Farinha de sementes do melão (*Cucumis melo* L.): Proposta de desenvolvimento de alimento sustentável. Dissertação de mestrado, Universidade Augusto Mota, Rio de Janeiro, 2013.
- Becker, T. S.; Krüger, R. L. Elaboração de barras de cereais com ingredientes alternativos e regionais do Oeste do Paraná. *Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR*, Umuarama, v. 14, n. 3, p. 217-224, set./dez. 2010.
- Dantas, L. A.; Mata, M.; Duarte, M. E. M. Programa computacional dinâmico para simulação de secagem de grãos e sementes de milho. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 13, n. 3, p. 309-318, 2011.
- Diamante, L.M. Ihns, R., Savage, G.P., Vanhanen, L. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 9, p. 1956–1962, 2010.
- Donato, L. M. S.; Rabelo, M. M.; David, A. M. S. S.; Rocha, A. F.; Rocha, A. S.; Borges, G.A. Qualidade fisiológica de sementes de melão em função do estágio de maturação dos frutos. *Comunicata Scientiae*, v. 6, n. 1, p. 49-56, 2015.
- Duarte, M. E. M.; Mata, M.E.R.R.C.; Araújo, R.D.A.; Almeida, R.D.; Andre, A.M.M.C.N., Melo, R.D.B. Coeficiente de difusividade efetivo e modelagem matemática da secagem de berinjela. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 6, n. 7, p. 54117-51124 jul. 2020
- Ferrari, C. C.; Rodrigues, L.K.; Tonon, R.V.; Hubinger, M.D. Cinética de transferência de massa de melão desidratado osmoticamente em soluções de sacarose e maltose. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25(3): 564 564-570, jul.-set. 2005.
- Filho, M. T. L., Martins, J. H.; Mata, M. E. R. M. C.; Silva, A. L. C.; Martins, I. T. A. Drying kinetics of pineapple agro-industrial residues: a new approach. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 3928-3949 jan. 2020.
- Kaletka, A., Górnicki, K. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 45, n. 5, p. 891–898, 2010.
- Madeira, P. M. R. Agregação de valor ao resíduo de melão: caracterização, avaliação de atividade antioxidante, antiproliferativa, potencial prebiótico e produção de enzimas. Tese de doutorado apresentada no programa de pós-graduação em Biotecnologia (Renorbio) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 241 p. 2017.
- Malacrida, C. R.; Angelo, P. M.; Andreo, D.; Neuza Jorge. Composição química e potencial antioxidante de extratos de sementes de melão amarelo em óleo de soja. *Rev. Ciên. Agron.*, Fortaleza, 38 (4), p. 372-376, Out.- Dez., 2007.
- Pereira, H. L. S. Aceitabilidade e composição centesimal de bolo de chocolate (tipo mãe benta) isento de glúten e lactose fortificado com farinha de sementes de melão (*Cucumis melo*). Monografia apresentada ao curso de Nutrição da Universidade Federal do Maranhão. 51 p. 2014.

Pirone, B.N.; De Michelis, A.; Salvatori, D. M. Pretreatments effect in drying behaviour and colour of mature and immature ‘Napolitana’ sweet cherries. *Food Bioprocess Technol*, Springer, v. 7, n. 6, p. 1640–1655, 2014.

Silva, W.P., Silva, C. M. D. P. S., Sousa, J.A.R., Farias, V. S. O. Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 48, n. 2, p. 267–273, 2013.

Silva, W.P.; Silva, C. M. D. P. S. Lab fit curve fitting software, V.7.2.46; disponível em :<www.labfit.net>. Acesso em: Abril de 2018.