

ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DOS RESÍDUOS DA PINHA (*Annona squamosa L.*) EM FORNO MICRO-ONDAS

Gracimário Bezerra da Silva¹
Ayanne Basilio Malaquias²
Antonio Daniel Buriti de Macedo³
Ana Regina Nascimento Campos - Orientadora⁴

RESUMO

A pinha (*Annona squamosa L.*) é um fruto rico em vitaminas e minerais e que apresenta um elevado potencial econômico. Sua polpa pode ser consumida naturalmente, no entanto, a quantidade de resíduos gerados provenientes das cascas e sementes é relativamente alto. O estudo da cinética de secagem em forno micro-ondas a diferentes potências permite estudar às melhores condições para se ter um produto final desidratado e com a menor perda de proteínas dos resíduos deste fruto. Nesse sentido, o presente artigo teve como objetivo analisar a cinética de secagem do resíduo da casca da pinha em diferentes potências por micro-ondas. Para isso, as cinéticas de secagem em forno micro-ondas foram realizadas nas potências de 60, 80 e 100 %. Utilizou-se um forno micro-ondas com capacidade de 18 L, cuja potência máxima é de 700 W, modelo MEF 28 e marca Electrolux. As massas foram sendo registradas em intervalos de tempo regulares até a obtenção de uma massa constante. Após a obtenção dos dados, foi determinado a razão do teor de água e utilizados diferentes modelos matemáticos com obtenção das curvas de secagem. Os ajustes das curvas foram realizados através de análise de regressão não linear por meio do software *Statistica 12.0*, empregando-se o método Quasi-Newton. Como critério de ajuste dos modelos utilizou-se o coeficiente de determinação, desvio quadrático médio e qui-quadrado. Quanto maior a potência, menor o tempo do processo, sendo a amostra seca na potência de 100% a que apresentou o melhor resultado, com o tempo de secagem de 18 min e 2,28 % de umidade em base úmida na amostra final.

Palavras-chave: Desidratação, Resíduo agroindustrial, Modelos matemáticos.

INTRODUÇÃO

A pinha (*Annona squamosa L.*) é um fruto pertencente à família das anonáceas, de elevado teor de nutrientes e com grande potencial econômico. A polpa da pinha é utilizada como alimento natural e, com isso, a quantidade de resíduos gerados provenientes das cascas e sementes é relativamente alta.

¹ Doutorando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; eng.gracimario@hotmail.com;

² Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; ayanne_bm@gmail.com;

³ Doutorando do Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; daniel_buritt@hotmail.com;

⁴ Professora Orientadora: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; ana.regina@professor.ufcg.edu.br;

Segundo Radünz *et al.* (2019), os estudos *in vitro* e *in vivo* desse fruto demonstram propriedades anticancerígenas consideráveis e propriedades anti-hipertensivas. Relatam ainda, que a pinha apresenta na sua composição química compostos com atividade citotóxica, antitumoral, pesticida, vermífida, antimicrobiana, imunossupressora, antiemética, inibidora do apetite e antimalárica (RADÜNZ; *et al.*, 2019; BRITO; *et al.*, 2008).

O processo de secagem promove a redução de teores de água em níveis adequados, de forma a permitir a qualidade no armazenamento do produto farináceo obtido e garantindo, assim, a preservação de suas propriedades físico-química. Algumas técnicas de secagem podem ser empregadas, porém um fator a ser considerado é que altas temperaturas pode comprometer a qualidade nutricional do material submetido à secagem (TEIXEIRA *et al.*, 2020; MENEZES *et al.*, 2012).

Para Araújo *et al.* (2021), a cinética de secagem permite obter informações em relação ao comportamento da transferência de calor e massa entre o produto e o agente de secagem, normalmente o ar. Além disso, pode ser descrita por modelos matemáticos, que possibilitam a obtenção de estimativas do tempo de secagem necessário para redução do teor de água do produto a diferentes condições (ARAÚJO *et al.*, 2021; GUEDES *et al.*, 2000; SOUSAET *et al.*, 2011). Os modelos matemáticos empregados na cinética de secagem permitem avaliar o tempo de secagem dos resíduos de casca de pinha, objeto de estudo desse artigo, para que sejam geradas as curvas de secagem.

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar a cinética de secagem do resíduo da casca da pinha em diferentes potências por micro-ondas.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Bioprocessos da Universidade Federal de Campina Grande. Para tal, foram utilizadas pinhas (*Annona squamosa L.*) obtidas na feira central da cidade de Campina Grande-PB. Foi realizada manualmente a separação dos resíduos de cascas e de sementes das polpas das pinhas. Os resíduos foram separados e colocados em bandejas de plástico.

As cinéticas de secagem em forno micro-ondas foram realizadas em potências de 60, 80 e 100%. Foi utilizado um forno micro-ondas com uma capacidade de 18 L, com potência máxima de 700 W, modelo MEF 28 e marca Electrolux.

No processo de secagem foram registradas as massas das amostras em intervalos de tempo regulares pré-estabelecidos até que se chegasse a uma massa constante. Isso foi

realizado para as três diferentes potências. Utilizou-se de uma balança analítica para o controle da massa das amostras e de um termômetro infravermelho para o acompanhamento da temperatura.

Posteriormente, determinou-se a razão do teor de água e utilizou-se de diferentes modelos matemáticos, conforme apresentados na Tabela 1, para obtenção da curva de secagem do modelo mais representativo.

Tabela 1 – Modelos matemáticos que descrevem o processo de secagem

| Denominação do Modelo | Equações | Referências |
|------------------------------|---|----------------------------------|
| Henderson e Pabis | $RU = a e^{-kt}$ | (HENDERSON; PABIS, 1961) |
| Verma | $RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-k_1t}$ | (VERMA <i>et al.</i> 1985) |
| Dois termos | $RU = ae^{-k_0t} + be^{-k_1t}$ | (HENDERSON, 1974) |
| Exponencial de dois termos | $RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kat}$ | (OZDEMIR; DEVRES, 1999) |
| Wang e Sing | $RU = 1 + at + bt^2$ | (WANG; SING, 1978) |
| Henderson e Pabis modificado | $RU = ae^{-kt} + be^{-k_0t} + ce^{-k_1t}$ | (HENDERSON; PABIS, 1961) |
| Aproximação da difusão | $RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$ | (CÔRREA <i>et al.</i> , 2010) |
| Newton | $RU = e^{-kt}$ | |
| Thompson | $RU = e^{\frac{-a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}}$ | (ERTEKIN; YADIZ, 2004) |
| Page | $RU = e^{-kt^n}$ | (OVERHULTS <i>et al.</i> , 1973) |

RU: razão de teor de água (adimensional); t: tempo de secagem (min); a, b, c, k, k₀, k₁ e n: parâmetros dos modelos.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Os ajustes das curvas foram realizados através de análise de regressão não linear por meio do software *Statistica 12.0*, empregando-se o método Quasi-Newton. Como critério de ajuste dos modelos utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado (X^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As pinhas utilizadas no experimento são apresentadas na Figura 1, cujas cascas que foram submetidas à cinética de secagem são mostradas na Figura 2.

Figura 1 – Amostras de pinha (*Annona squamosa L.*) *in natura* utilizada no experimento



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Figura 2 – Amostra de resíduos de casca da pinha (*Annona squamosa L.*) *in natura* utilizada no experimento



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

O estudo da cinética de secagem em forno micro-ondas a diferentes potências permite estudar às melhores condições para obtenção de um produto final desidratado mantendo as características dos resíduos deste fruto.

Os resultados obtidos do DQM, X^2 e R^2 referentes a análise de regressão não linear realizada por meio do software *Statistica 14.0* são apresentados na Tabela 2, de acordo com diferentes modelos empregados para diferentes potências do forno micro-ondas utilizado na secagem das cascas de pinha.

Tabela 2 – Valores de DQM, X^2 e R^2 para os modelos matemáticos escolhidos na secagem das cascas da pinha por forno micro-ondas nas potências de 60, 80 e 100%

| Denominação do Modelo | Potência % | DQM | X^2 | R^2 |
|---------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Henderson e Pabis | 60 | 0,07102 | 0,00504 | 0,957194178 |
| | 80 | 0,092893689 | 0,008629237 | 0,957274442 |
| | 100 | 0,06783 | 0,0046 | 0,975625763 |
| Dois termos | 60 | 0,05066 | 0,00257 | 0,957194178 |
| | 80 | 0,092894 | 0,008629 | 0,957274442 |
| | 100 | 0,0678 | 0,0046 | 0,975625763 |
| Exponencial de dois termos | 60 | 0,086 | 0,0074 | 0,936621802 |
| | 80 | 0,03773 | 0,00142 | 0,993076995 |
| | 100 | 0,0238 | 0,0006 | 0,997031926 |
| Wang e Sing | 60 | 0,0579 | 0,0033 | 0,971801679 |
| | 80 | 0,06735 | 0,00454 | 0,980994077 |
| | 100 | 0,036 | 0,001 | 0,993197808 |
| Henderson e Pabis (Modificado) | 60 | 0,07102 | 0,005044 | 0,957194178 |
| | 80 | 0,09289 | 0,008629 | 0,957274442 |
| | 100 | 0,06783 | 0,0046 | 0,975625763 |
| Aproximação da difusão | 60 | 0,02412 | 0,00058 | 0,995155353 |
| | 80 | 0,030644 | 0,00094 | 0,995439496 |
| | 100 | 0,0201 | 0,0004 | 0,997882255 |
| Newton | 60 | 0,086 | 0,0074 | 0,936621802 |
| | 80 | 0,11159 | 0,01245 | 0,937719886 |
| | 100 | 0,0833 | 0,0069 | 0,962968275 |
| Page | 60 | 0,0136 | 0,0002 | 0,998472495 |
| | 80 | 0,01059 | 0,00011 | 0,999456587 |
| | 100 | 0,015 | 0,0002 | 0,998894369 |
| Thompson | 60 | 0,08597 | 0,00739 | 0,936615425 |
| | 80 | 0,111601 | 0,01245 | 0,937711006 |
| | 100 | 0,08335 | 0,00695 | 0,962960192 |
| Verna | 60 | 0,02422 | 0,00059 | 0,995115829 |
| | 80 | 0,11159 | 0,01245 | 0,937719886 |
| | 100 | 0,08334 | 0,00695 | 0,962968275 |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A amostra seca na potência de 100% foi a que apresentou o melhor resultado, com o tempo de secagem equivalente a 18 min e com 2,28 % de umidade em base úmida na amostra final.

É possível observar, conforme a Tabela 2, que os modelos de secagem de Newton e de Page foram os que apresentaram melhores resultados na cinética de secagem. Porém, o modelo apresentado por Page foi o que obteve valores de maior significância. Além disso, se caracteriza por ser um modelo simples com menos parâmetros e, conseqüentemente, o modelo realiza menos interações possíveis.

Na Tabela 3 são mostrados os parâmetros obtidos para o modelo de Page ajustados as três diferentes potências em forno micro-ondas para o processo de secagem das cascas de pinha em estudo.

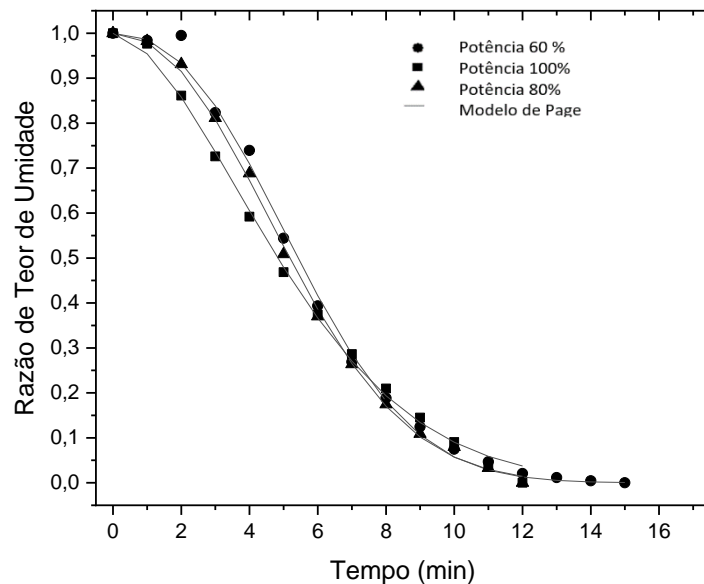
Tabela 3 – Valores dos parâmetros obtidos para o modelo de Page ajustados para as três diferentes potências em forno micro-ondas potências 60, 80 e 100%.

| Parâmetros Obtidos | Potências (%) | | |
|--------------------|---------------|----------|----------|
| | 60 | 80 | 100 |
| k | 0,013817 | 0,019874 | 0,46866 |
| n | 2,316140 | 2,159190 | 1,710371 |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Na Figura 3 é ilustrado as curvas de secagem das cascas de pinha de acordo com o modelo de Page para as potências de 60, 80 e 100%.

Figura 3 – Valores experimentais da razão do teor de água estimados pelo modelo de Page para a secagem em forno micro-ondas dos resíduos das cacas de pinha



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantidade de resíduos gerados em processos agroindustriais é significativamente alta, ocorrendo muitas vezes o desperdício de resíduos como o de cascas e sementes que poderiam ser totalmente aproveitados a partir da aplicação de processos de secagem para o desenvolvimento de produtos farináceos ricos em nutrientes.

A cinética de secagem mostrou que quanto maior a potência, menor o tempo para a secagem da amostra de resíduo de casca da pinha (*Annona squamosa L.*). A amostra seca na potência de 100% apresentou o melhor resultado, com o tempo de secagem de 18 min e 2,28 % de umidade em base úmida na amostra final.

O modelo que melhor representou a cinética de secagem das cascas de pinha foi o modelo desenvolvido por Page, que é considerado um modelo relativamente simples com poucos parâmetros.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. T. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, R. C.; AMADEU, L. T. S.; PAIVA, Y. F.; Cinética de secagem e determinação do coeficiente de difusão efetivo das polpas de noni e umbu. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, e46710413985, 2021. ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13985>.

BRITO, H. O.; NORONHA, E. P.; FRANÇA, L. M.; BRITO, L. M. O.; PRADO, M. S. A. Análise da composição fitoquímica do extrato etanólico das folhas da *Annona squamosa* (ATA). **Revista Brasileira de Farmacologia**, v. 89, n. 3, p. 180-184, 2008.

CÔRREA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M., GONELI, A. L. D., CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arábica L.*) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

DE MENEZES, N. L.; PASQLLI, L. L.; BARBIERI, A. P. P.; VIDAL, M. D.; CONCEIÇÃO, G. M. Temperaturas de secagem na integridade física, qualidade fisiológica e composição química de semente de arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 430-436, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000400011>.

ERTEKIN, C.; YALFIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 3, p. 349-359, 2004.

GUEDES, A. M.; FARIA, L. J. G.; Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana L.*) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos**

Agroindustriais, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000. DOI:<http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v2n1p73-86>.

HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin-layer drying equation. **Transactions of the American Society of Agricultural**, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

OVERHULTS, D. G., WHITE, G. M., HAMILTON, H. E., ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the of the American Society of Agricultural**, v. 16, n.1, 1973.

OZDEMIR, M.; DEYRES, Y. O. The thin-layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 225-233, 1999.

RADÜNZ, M.; CAMARGO, T. M.; RIBEIRO, J. A.; RADÜNZ, A. L. Fruta do conde e saúde (annona squamosa, l.): uma breve revisão. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 20 n. 1, 2019. ISSN 1518-8361.

SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; SILVA, L. M. M.; MARTINS, J. J. A.; GOMES, J. P.; ROCHA, A. P. T.; Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 26, n. 2, p. 108-112, 2011. DOI: <http://www.abeas.com.br/wt/revista.php>.

TEIXEIRA, P. C. M.; DOS SANTOS, R. G. S.; MADALENA, N. P. VIEIRA, C. F. S.; GIRALDO, A. D. Avaliação de modelos empíricos de cinética de secagem da amêndoa da fruta do conde (Annona squamosa L.). **Revista Cereus**, v. 12, n.2, p. 233-240, 2020. DOI: [10.18605/2175-7275/cereus.v12n2p233-240](https://doi.org/10.18605/2175-7275/cereus.v12n2p233-240).

VERMA, L. R.; BUCKLIN, R. A; ENDAN, J. B.; WRATTEN, F. T. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 1, p. 296-301, 1985.

WANG, C.Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **ASAE Paper**, p. 78-6505, 1978.