

CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATES DO TIPO CEREJA (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) E UVA (*Lycopersicon esculentum* Mill.) UTILIZANDO SECADOR DE BANDEJAS

H. O. N. ALTINO¹ e R. N. CUNHA¹

¹ Centro Universitário de Patos de Minas, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: heitor.engquimica@gmail.com

RESUMO – O Brasil atua como um dos maiores produtores mundiais de tomates. Todavia, apesar da elevada produção, as perdas durante a cadeia produtiva variam entre 20% e 50%. Assim, novas tecnologia buscam reduzir tais perdas, destacando-se a secagem para produção de tomates secos. Os tomates tipo cereja e uva apresentam potencial para a produção de tomate seco, devido à abundância, qualidades sensoriais e facilidades operacionais. Neste contexto, o objetivo principal desse trabalho foi estudar a cinética de secagem dos tomates tipo cereja e uva. Utilizou-se um secador de bandejas sob as temperaturas de 60°C, 70°C e 80°C. Além disso, aplicou-se diversos modelos matemáticos para a descrição das curvas de secagem. Constatou-se que os modelos avaliados são aplicáveis aos dados cinéticos, sendo que o modelo de Midilli *et al.* mostrou-se o mais indicado para descrição do processo. Observou-se ainda pequenos intervalos de taxa de secagem constante, indicando que a cinética do processo é controlada pela difusão da água pela estrutura do material. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade operacional da secagem de tomates do tipo cereja e uva em secador de bandejas.

1. INTRODUÇÃO

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015), o Brasil possui uma área plantada de 55.016 ha e uma produção de 3.467.990 toneladas de tomate, resultando em um rendimento de 63.036 kg/ha. Apesar de elevada produção, as perdas variam entre 20% e 50% devido à safra, doenças, sistema de colheita, manuseio e comercialização (Pacco, 2008). Assim, novos processos de industrialização vêm sendo pesquisados, visando a redução dessas perdas, destacando-se a secagem para produção de tomates secos (Mata; Branga; Kross, 2003).

Os tomates tipo cereja e uva apresentam grande potencial para a produção de tomate seco, devido à abundância, coloração vermelho brilhante, sabor intenso e facilidades operacionais (May, 2004; Azoubel; Murr, 2000). No âmbito acadêmico, são poucas as pesquisas envolvendo a secagem de tomates do tipo cereja e uva. Todavia, Orlandin, Fontana e Sandri (2010) já comprovaram a aceitação desse primeiro tipo por análise sensorial, após a desidratação osmótica, e May (2004) registrou uma patente para a secagem ao sol desse segundo tipo.

Com base nessa problemática, o objetivo desse trabalho foi estudar a cinética de secagem dos tomates tipo cereja e uva. De forma que, os dados obtidos possam auxiliar na projeção de

equipamentos, do processo de secagem, contribuindo, no futuro, para o desenvolvimento de produtos, nutritivos e econômicos, que possam ser inseridos no mercado brasileiro.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Matéria-Prima

Os materiais adotados como objeto de estudo do presente trabalho (tomates do tipo cereja e uva) foram obtidos no comércio local da cidade de Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil. A seleção foi realizada atentando-se para frutos sadios, coloração avermelhada, uniformidade, ausência de pedúnculo, desenvolvimento fisiológico, limpeza, textura de polpa firme, ausência de danos mecânicos, fisiológicos, pragas e doenças. Em seguida, 2000 g de tomates foram limpos com água deionizada (CS1800, Permution®, Brasil) e sanitizados com uma solução de cloro ativo a 0,5% durante 30 min. Após esse período de tempo, os tomates foram cortado perpendicularmente ao eixo principal e gravitacionalmente escorridos durante 15 min.

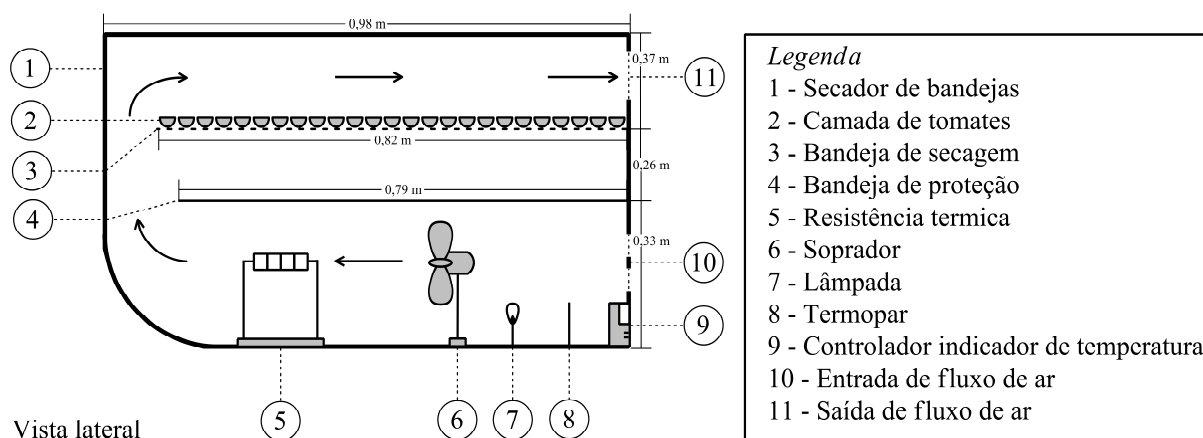
2.2. Caracterização Físico-Química

A umidade inicial foi estimada por um Analisador de Umidade por Infravermelho (IV 2500, Gehaka®, Brasil) com taxa de Auto Dry de 1%.min⁻¹ e temperatura de 105°C. A análise granulométrica foi realizada por medição dos três eixos principais e pesagem das amostras. As medições foram realizadas por meio de um paquímetro digital (316119, MTX®, Brasil) e as pesagens por meio de uma balança digital (BG-440, Gehaka®, Brasil).

2.3. Sistema Experimental

Os experimentos foram conduzidos em um secador de bandejas (PE 60, Pardal®, Brasil), como esquematicamente mostrado na Figura 1. O equipamento contava com bandejas de secagem (0,5 m x 0,82 m) de plástico para alimentos com bordas de aço para o suporte das amostras, área de secagem de 0,36 m², volume de 0,30 m³, velocidade do ar de secagem de 0,11 ± 0,02 m.s⁻¹ e potência de 1,3 kW.h⁻¹. Os experimentos foram conduzidos nas seguintes condições ambientais: umidade do ar 44,88 ± 1,92%, temperatura do ar 26,69 ± 0,41°C e pressão atmosférica de 91.580,47 ± 137,32 Pa.

Figura 1 – Sistema experimental.



2.4. Estudos Cinéticos

Os estudos cinéticos foram realizados em um secador de bandejas, conforme descrito na seção 2.3. As temperaturas de secagem foram 60°C, 70°C e 80°C para os tomates tipo cereja e uva. Os tomates foram distribuídos uniformemente na bandeja de secagem com a face de corte para cima, formando uma camada. Durante o processo de secagem os tomates foram pesados em tempos regulares utilizando uma balança digital (DG 15, Digimed®, Brasil). A matéria seca foi mensurada, após a umidade de equilíbrio ser atingida, aumentando-se a temperatura de secagem para 105°C até se alcançar peso constante.

A umidade total (X_t) (g H₂O.g⁻¹ matéria seca) foi calculada por meio da Equação 1, a umidade livre (X) (g H₂O.g⁻¹ matéria seca) pela Equação 2 e a taxa de secagem (R) (g.min⁻¹m⁻²) empregando-se a Equação 3 (Geankoplis, 1993).

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (1)$$

$$X = X_t - X^* \quad (2)$$

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (3)$$

Em que W é a massa total do sólido (g), W_s a massa de sólido seco a 105°C (g), X^* a umidade de equilíbrio (g H₂O.g⁻¹ matéria seca), t o tempo (min), L_s a massa de sólido seco utilizada (g) e A a área superficial do material exposta a secagem (m²).

2.5. Modelagem Matemática da Cinética de Secagem

Com o objetivo de descrever os fenômenos envolvidos no processo de secagem dos tomates tipo cereja e uva, buscou-se aplicar modelos matemáticos para descrição das curvas de secagem, os quais podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos matemáticos para descrição das curvas de secagem.

Designação	Modelo	Referência	Eq.
Page	$MR = e^{-kt^n}$	Karathanos e Belessiotis (1999)	(4)
Midilli <i>et al.</i>	$MR = ae^{-kt^n} + bt$	Midilli, Kucuk e Yapar (2002)	(5)
Henderson e Pabis	$MR = ae^{-kt}$	Akpınar, Bicer e Yildiz (2003)	(6)
Wang e Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang <i>et al.</i> (2007)	(7)
Newton	$MR = e^{-kt}$	O'Callaghan <i>et al.</i> (1971)	(8)

a e b : constantes de secagem adimensional, k , k_0 e k_1 : constantes da cinética de secagem (min⁻¹), RU : razão de umidade, n : constante de cinética de secagem adimensional e t : tempo (min).

Tais modelos são expressos na forma de razão de umidade (RU), como matematicamente mostrado pela Equação 9.

$$RU = \frac{X_t - X^*}{X_i - X^*} \quad (9)$$

Em que X_t é a umidade total ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1}$ matéria seca), X_i a umidade total inicial ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1}$ matéria seca) e X^* a umidade de equilíbrio ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1}$ matéria seca).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Físico-Química

A Tabela 2 apresenta as características físico-químicas dos tomates tipo cereja e uva. Para todos os parâmetros estudados é possível observar pequenos intervalos de confiança, indicando a semelhança entre as amostras e permitindo inferir que os efeitos observados nos estudos cinéticos não foram influenciados pelas características físico-químicas das amostras.

Tabela 2 – Características físico-químicas dos tomates tipo cereja e uva.

Parâmetros	Tomate cereja	Tomate uva
X_0 (%)	$86,269 \pm 1,003$	$84,797 \pm 0,909$
ρ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	$1,217 \pm 0,004$	$1,219 \pm 0,004$
V (cm^3)	$9,664 \pm 0,286$	$6,263 \pm 0,110$
AES ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	$1,847 \pm 0,157$	$2,465 \pm 0,122$
DPS (cm)	$2,687 \pm 0,286$	$1,988 \pm 0,064$
ASC (cm^2)	$1.893,693 \pm 379,114$	$1.892,664 \pm 263,123$

X_i : umidade inicial (%), ρ : massa específica ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), V : volume (cm^3), AES : área específica superficial ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), DPS : diâmetro principal de Sauter (cm) e ASC : área superficial de corte (cm^2).

3.2. Cinética de Secagem

A Tabela 3 apresenta os resultados da aplicação dos modelos matemáticos nas curvas de secagem dos tomates tipo cereja e uva. Os valores dos coeficiente de determinação (R^2) variaram de 0,9133 até 0,9997 para o tomate cereja e 0,9435 até 0,9992 para o tomate uva. Em todas as temperaturas, o modelo de Midilli *et al.* apresentou os maiores valores de R^2 para os tomates tipo cereja e uva. Indicando a capacidade do modelo para descrição dos fenômenos envolvidos na cinética de secagem desses materiais.

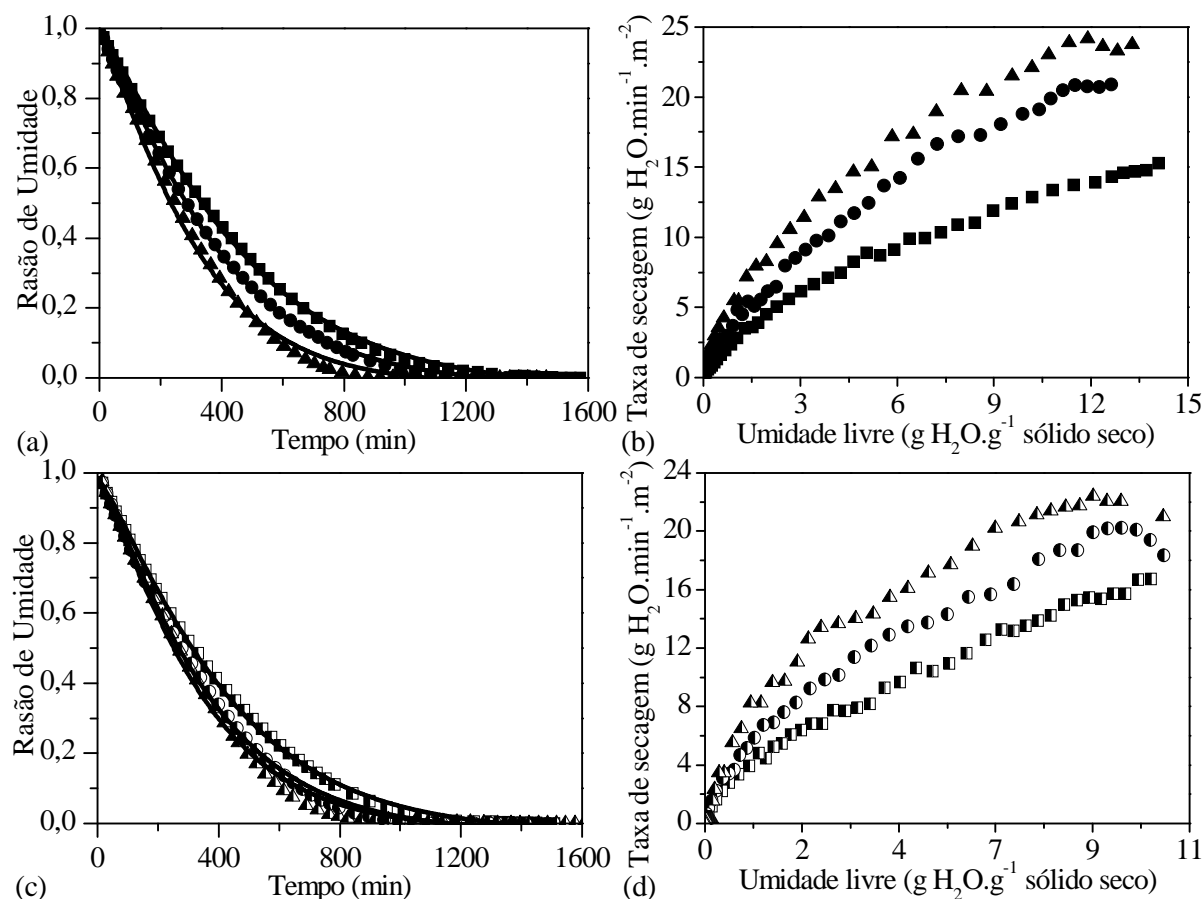
As curvas de secagem com o modelo de Midilli *et al.* aplicado podem ser vistas na Figura 2 (a) para o tomate cereja e na Figura 2 (c) para o tomate uva. Observa-se uma rápida redução inicial do conteúdo de água, provavelmente devido a remoção da água livre. Após esse período, não há água livre suficiente e as interações entre a água e a estrutura do sólido podem começar a se intensificar, diminuindo o conteúdo de água. Tal redução cessa quando a umidade de equilíbrio é alcançada, resultando em um período constante de baixa razão de umidade.

O modelo de Midilli *et al.* foi proposto para descrever os fenômenos envolvidos na secagem de materiais biológicos, o que está de acordo com as curvas de taxa de secagem para o tomate tipo cereja (Figura 2 (b)) e uva (Figura 2 (d)) (Midilli *et al.*, 2002). Nota-se curvas características de materiais biológicos, com pequenos intervalos de taxa constante. Indicando que a cinética do processo é controlada pela lenta difusão da água por entre a estrutura do material (Geankoplis, 1993). Outro efeito é o aumento das taxas de secagem com o aumento da temperatura. O que pode ser atribuído ao aumento do potencial de transferência de calor entre o ar e a estrutura dos tomates em altas temperaturas, facilitando a saída de água.

Tabela 3 – Parâmetros dos modelos para descrição das curvas de secagem.

Modelo	Parâmetro	Tomate cereja			Tomate uva		
		60°C	70°C	80°C	60°C	70°C	80°C
Page	k (min^{-1})	0,0006	0,0008	0,0009	0,0007	0,0008	0,0008
	n	1,2092	1,2104	1,2150	1,2087	1,2113	1,2191
	R^2	0,9984	0,9989	0,9971	0,9980	0,9978	0,9964
Midilli <i>et al.</i>	a	0,9876	0,9844	0,9813	0,9819	0,9829	0,9839
	k (min^{-1})	0,0006	0,0007	0,0008	0,0006	0,0007	0,0008
	n	1,2090	1,2149	1,2210	1,2141	1,2168	1,2186
	b	-1,60E-05	-1,20E-05	-1,30E-05	-1,50E-05	-1,64E-05	-1,10E-05
	R^2	0,9994	0,9997	0,9975	0,9992	0,9987	0,9965
Henderson e Pabis	a	1,0522	1,0527	1,0695	1,0376	1,0630	1,0767
	k (min^{-1})	0,0024	0,0028	0,0035	0,0025	0,0030	0,0033
	R^2	0,9912	0,9934	0,9885	0,9925	0,9905	0,9880
Wang e Singh	a	-0,0016	-0,0021	-0,0017	-0,0016	-0,0017	-0,0017
	b	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06
	R^2	0,9963	0,9768	0,9133	0,9922	0,9619	0,9435
Newton	k (min^{-1})	0,0023	0,0027	0,0033	0,0024	0,0029	0,0030
	R^2	0,9881	0,9904	0,9841	0,9899	0,9864	0,9826

Figura 2 – Dados experimentais para o tomate cereja a 60°C (■), 70°C (●) e 80°C (▲): curva de secagem (a) e curvas de taxa de secagem (b). Dados experimentais para o tomate uva 60°C (■), 70°C (●) e 80°C (▲): curva de secagem (c) e curvas de taxa de secagem (d).



4. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi realizado o estudo da cinética de secagem de tomates do tipo cereja e uva. Para tal propósito utilizou-se um secador de bandejas sob as temperaturas de ar de secagem de 60°C, 70°C e 80°C. Além disso, aplicou-se diversos modelos matemáticos para a descrição das curvas de secagem. Constatou-se que os modelos avaliados são aplicáveis aos dados cinéticos, contudo o modelo de Midilli *et al.* se mostrou o mais recomendado para descrição do processo. Observou-se ainda pequenos intervalos de taxa de secagem constante, indicando que a cinética do processo é controlada pela lenta difusão da água por entre a estrutura do material. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade operacional da secagem de tomates do tipo cereja e uva utilizando secador de bandejas.

5. REFERÊNCIAS

- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. *J. Food Eng.*, v. 59, p. 99-104, 2003.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mathematical modelling of osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v. 20, p. 228-232, 2000.
- GEANKOPLIS, C. J. *Transport Processes and Unit Operations*. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Levantamento sistemático da produção agrícola*. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G. Application of a Thin-Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-dried Fruits. *J. Agric. Eng. Res.*, v. 74, p. 355-361, 1999.
- MATA, M. E. R. M. C.; BRAGA, M. E. D.; KROSS, R. K. Secagem osmótica de tomate: efeito da epiderme. *Rev. Bras. de Prod. Agroindustriais*, n. 1, p.77-84, 2003.
- MAY, Edward. *Tomato Raisin*. US nº 6743560B2, 1 jun. 2004.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A New Model for Single-Layer Drying. *Drying Technol.*, v. 20, p. 1503–1513, 2002.
- O'CALLAGHAN, J. R., MENZIES, D. J., BAILEY, P. H. Digital simulation of agricultural drier performance. *J. Agric. Eng. Res.*, v. 16, p. 223-244, 1971.
- ORLANDIN, A.; FONTANA, R. C.; SANDRI, I. G. Estudo de pré-tratamentos na desidratação de tomate-cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Braz. J. Food Technol.*, v. 13, p. 226-231, 2010.
- PACCO, H. C. *Desenvolvimento de um sistema de bomba de calor água/água para resfriamento e secagem de tomates*. 2008. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, 2008.
- WANG, Z.; SUN, J.; CHEN, F.; LIAO, X.; HU, X. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *J. Food Eng.*, v. 80, p. 536-544, 2007.