



Área: Engenharia de Alimentos

CINÉTICA E MODELAGEM MATEMÁTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DA POLPA DE MANGA (*Mangifera indica* L.)

Ingridy Alessandretti^a, Thaynara Melo Yamaguchi^{b*}, Gabriel Damini^a, Bruna Elisangela Pessini Ostwald^a, Raquel Aparecida Loss^b, Claudineia Aparecida Queli Geraldini^b

^a Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo, RS

^b Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Barra do Bugres, MT

*E-mail: thay_gif@hotmail.com

RESUMO – A polpa da manga possui diversos nutrientes em sua composição, principalmente carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. Entretanto, por ser um fruto sazonal e de alta perecibilidade, gera perdas pós-colheita. Em razão disso, é necessário a implementação de novos métodos, para minimizar tais perdas e preservar o valor nutricional e sensorial do fruto. Nesse sentido, a secagem em camada de espuma é um processo de baixo custo, com simplicidade de processo, utilização de baixas temperaturas e menor tempo de desidratação, sendo promissor para secagem de frutas. Portanto, o presente estudo objetivou avaliar a influência da temperatura durante a secagem em camada de espuma nas características físico-químicas da polpa de manga, bem como a cinética e modelagem matemática do processo. As cinéticas obtidas foram de 420, 250 e 120 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, evidenciando que o tempo depende da temperatura de secagem. O modelo de Page foi escolhido para representação dos dados experimentais em função dos coeficientes de correlação superiores a 0,99, menores valores de erros e quantidade inferior de parâmetros (princípio da parcimônia). Em relação as análises físico-químicas, verificou-se que o aumento de pH, teor de cinzas e umidade dependem da temperatura de secagem. Os teores de vitamina C obtidos foram 52,66; 24,66 e 26,32 mg/100g, respectivamente para 50, 60 e 70 °C, indicando, portanto, que, 50 °C é a temperatura ideal para secagem de manga em camada de espuma, a fim de preservar melhor seu valor nutricional.

Palavras-chave: Manga, secagem, camada de espuma.

1 INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutas mais consumidas e cultivadas no Brasil, principalmente na região nordeste do país, sendo originária da Índia (DIÓGENES et al., 2015). A polpa de manga possui diversos nutrientes em sua composição, como carboidratos, fibras, vitaminas e minerais e sendo assim pode ser consumida tanto *in natura*, quanto utilizada para fabricação de sucos, néctares, conservas e geleias (DAMIANE et al., 2008; SILVA FILHO et al., 2016). Os frutos possuem vida útil curta pós colheita em razão das condições de maturação e temperatura de armazenamento, o que leva a estes possuírem alta perecibilidade, como no caso da manga, resultando em grandes perdas pós colheita (SILVA FILHO et al., 2016).

Contudo, surge como alternativa para minimizar tais perdas, as técnicas de secagem, que proporcionam aumento do tempo de conservação, diminuição de gastos com transporte e energia e preservação das características nutricionais e sensoriais do fruto (FEMENIA et al., 2009). Dentre os métodos de secagem, destaca-se a pôr camada de espuma, que faz com que alimentos líquidos e semilíquidos, transformem-se em uma espuma, por meio da utilização de agentes emulsificantes, que pós desidratação resultam em um produto em pó (MANÇANO et al., 2018). Em relação as vantagens da técnica, esta possui baixo custo, simplicidade de processo, utilização de baixa temperaturas, menor tempo de desidratação, devido à maior área de exposição ao ar e pôr fim a formação de um produto poroso facilmente reidratável (SILVA FILHO et al., 2016).

Deste modo, o presente estudo objetivou avaliar a influência da temperatura durante a secagem em camada de espuma nas características físico-químicas da polpa de manga, bem como a cinética e modelagem matemática do processo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou como matéria-prima o fruto de manga, proveniente do mercado local de Barra do Bugres-MT. As amostras foram preparadas e analisadas no LMPPB (Laboratório de Matérias-Primas para produção de biodiesel) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Barra do Bugres-MT.



2.1 Preparo da polpa e obtenção da espuma

Inicialmente, o fruto foi selecionado levando em conta o estágio de maturação, sendo este foi higienizado em água corrente, despulpado manualmente e por fim armazenado em condições de congelamento, à uma temperatura de -18 °C em freezer comercial, até a realização da secagem e posterior análises. Após, o fruto foi triturado e homogeneizado em liquidificador comercial. Em seguida, foram testadas as concentrações de 4,0, 4,5 e 5% (m/m) de emulsificante Emustab, para preparo da espuma, e logo a mistura foi homogeneizada em uma batedeira comercial, por 8 min em velocidade máxima. A concentração de emulsificante selecionada foi a de 4,5%, por apresentar melhor estabilidade. A espuma obtida foi colocada em placas de Petri e submetida a secagem, em uma estufa de circulação de ar, em temperatura controlada.

2.2 Secagem e obtenção do pó

Para a secagem, 10 g de cada amostra foram espalhadas em placas de Petri e armazenadas em estufa de circulação forçada de ar (CienLab, CE-480) à temperatura de 50, 60 e 70 °C. As espumas das polpas secas foram retiradas da estufa, acondicionadas e identificadas em relação ao tipo de material, data e condições experimentais.

2.3 Estudo da cinética de secagem

As curvas cinéticas de secagem para polpa de manga foram obtidas experimentalmente nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, por meio de acompanhamento da perda de umidade observada através da variação da massa das amostras em intervalos de tempo de 15 min. As perdas de massa durante a secagem foram obtidas com o auxílio de uma balança semi-analítica com precisão de 0,0001 g. Os ensaios foram encerrados, após as amostras apresentarem condição de equilíbrio. A razão de umidade (RU) foi calculada a partir da Equação 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (\text{Equação 1})$$

U= teor de água do produto, decimal b.s; U_i= teor de água inicial do produto, decimal b.s; U_e= teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

2.4 Modelagem matemática

Em relação a modelagem matemática para avaliar a cinética da secagem do fruto de manga, foram utilizados modelos semi-empíricos. Sendo estes os modelos matemáticos de Henderson e Pabis (1961), Midilli e Kucuk (2002) e Page (1949), apresentados na Tabela 1. Para execução, modelagem e avaliação destes foi utilizado o programa Excel. Por fim, considerou-se a umidade de equilíbrio como a umidade atingida quando a taxa de secagem se anula e assim foram calculadas as razões de umidade (RU).

Tabela 1: Modelos matemáticos utilizados para descrever a cinética de secagem.

Designação do modelo	Modelo	Equação
Modelo de Henderson e Pabis	$X_{ad} = a \exp(-kt)$	(2)
Modelo de Midilli e Kucuk	$X_{ad} = a \exp(-kt^n)bt$	(3)
Modelo de Page	$X_{ad} = \exp(-kt^n)$	(4)

X_{ad} = teor de umidade (adimensional); t = tempo de secagem (min); k = coeficiente de secagem (min⁻¹); a, b, n = constante do modelo (adimensional).

2.5 Análises físico-químicas

As polpas *in natura* e secas de manga foram submetidas às análises de: pH (método 014/IV), teor de umidade por gravimetria (método 014/IV), teor de vitamina C (método 364/IV), teor de cinzas (método 364/IV) e teor de açúcares redutores (método 038/IV), conforme o manual do Instituto Adolfo Lutz (2008). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

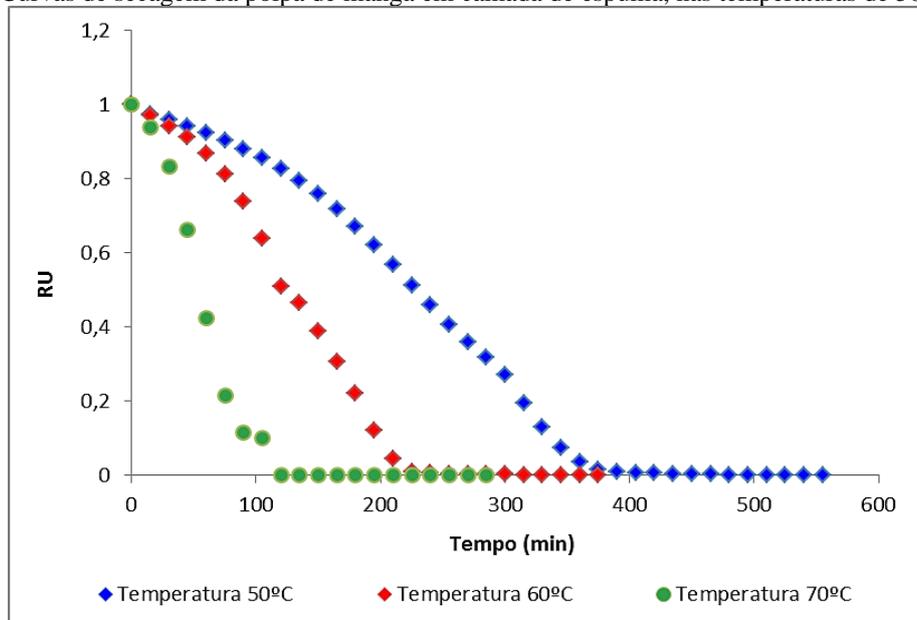


3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética de secagem

As curvas de secagem das amostras de polpa de manga encontram-se na Figura 1, plotadas em um gráfico RU *versus* tempo. As curvas foram realizadas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, onde a fruta foi submetida à secagem em circulação de ar forçado.

Figura 1: Curvas de secagem da polpa de manga em camada de espuma, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.



De acordo com a Figura 1, observa-se que na cinética de secagem da polpa de manga, na temperatura de 50 °C verifica-se um maior tempo de umidade de equilíbrio (420 min). Em relação as temperaturas de 60 e 70 °C percebe-se que o tempo necessário para se atingir o equilíbrio foi de 250 e 120 min, respectivamente. Sendo assim, evidencia-se que o aumento de temperatura do ar de secagem gera uma redução no tempo de secagem, efeito também relatado por Silva Filho et al. (2016), na secagem de manga variedade Haden, na faixa de temperatura do presente estudo (50, 60 e 70 °C).

3.2 Modelagem matemática

A partir dos valores obtidos na cinética de secagem da polpa da manga, foram propostos modelo matemáticos, para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Os dados dos ajustes dos parâmetros dos respectivos modelos de Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk e Page, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem da polpa de manga.

Modelo	Parâmetros	Temperaturas		
		50 °C	60 °C	70 °C
Henderson e Pabis	a	1,239587	1,250362	1,365892
	k (min ⁻¹)	0,004911	0,009475	0,025538
	R ²	0,949232	0,953832	0,952551
	Erro	4,374530	2,645803	1,264053
Midilli e Kucuk	a	0,960000	0,974222	0,975000
	b	0,000000	0,000000	0,000000
	k (min ⁻¹)	0,000001	0,000005	0,000015
	n	2,600000	2,440389	2,720000
	R ²	0,997742	0,998313	0,999369
Page	Erro	0,803185	0,426019	0,152839
	k (min ⁻¹)	0,000001	0,000005	0,000027
	n	2,530000	2,461072	2,576500
	R ²	0,996250	0,997809	0,999229
	Erro	1,071341	0,483973	0,168861



Observando a Tabela 2, nota-se que os ajustes dos parâmetros dos modelos matemáticos de Midilli e Kucuk e Page ajustaram melhor as cinéticas de secagem da polpa de manga, devido apresentarem todos os valores do coeficiente de correlação (R^2) acima de 0,99 e menores erros relativos. No entanto, devido ao modelo de Page possuir um menor número de parâmetros em relação ao modelo de Midilli e Kucuk, este foi escolhido para representar os dados experimentais da secagem de manga em camada de espuma.

Estudo de Mançano et al. (2018), avaliaram a cinética de secagem em leite de espuma da polpa de manga da variedade Haden, utilizando como formulação para espuma, 4,05% de Emustab e 2,05% de albumina. Ambos os modelos testados (Lewis, Henderson e Pabis e Page) apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,97, no entanto, similarmente ao presente estudo, o melhor ajuste obtido foi pelo modelo de Page, levando em consideração o princípio da parcimônia.

3.3 Análises físico-químicas da polpa seca

Os resultados obtidos a partir das análises físico-química da polpa de manga *in natura* e seca nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização físico-química das polpas de manga *in natura* e após a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Análises	<i>In natura</i>	Temperaturas		
		50 °C	60 °C	70 °C
pH	4,06 ± 0,0880 ^c	5,09 ± 0,0050 ^a	5,06 ± 0,0050 ^a	4,98 ± 0,0190 ^b
Umidade (%)	84,89 ± 0,053 ^c	8,98 ± 0,3730 ^a	9,76 ± 0,2510 ^b	8,40 ± 0,0230 ^a
Cinzas (%)	0,02 ± 0,0040 ^b	1,56 ± 0,1030 ^a	1,49 ± 0,0510 ^a	1,50 ± 0,0100 ^a
Vitamina C (mg/100g)	50,07 ± 2,298 ^b	52,66 ± 0,475 ^b	24,66 ± 1,239 ^a	26,32 ± 2,749 ^a
Açúcares Redutores (%)	2,40 ± 0,0300 ^a	2,65 ± 0,1830 ^a	2,36 ± 0,0620 ^a	2,73 ± 1,4500 ^a

* Pares de soma de ordem seguidos de uma mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

As análises de teor de umidade, apresentaram redução significativa em relação ao fruto *in natura*, sendo os teores finais de umidade, 8,98; 9,76 e 8,40% para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, valores semelhantes foram encontrados pelo estudo de Filho (2012), que apresentou 8,89; 7,94 e 6,96% para as mesmas temperaturas relatadas anteriormente para a polpa de manga cv. Haden. Na análise de pH, houve um aumento comparado ao fruto *in natura*, sendo que o valor deste (4,06), ficou próximo ao de Diógenes et al. (2015), que relatou 3,91 para a polpa *in natura* da manga Haden. Na análise de cinzas houve um aumento deste parâmetro após a secagem, tal efeito pode ter ocorrido devido a adição do agente emulsificante nas polpas secas (RIGUETO et al., 2018). Avaliando os açúcares redutores percebe-se que não houve variação significativa ($p > 0,05$) entre a polpa *in natura* e seca nas três temperaturas.

Em relação ao teor de vitamina C, percebe-se um aumento deste para a temperatura de 50 °C (52,66 mg/100g) e uma redução significativa nas temperaturas de 60 e 70 °C (24,66 e 26,32 mg/100g, respectivamente), está redução do teor de ácido ascórbico deve-se a oxidação que decorre do aumento de temperatura, situação análoga ao estudo de Riguetto et al. (2018), na secagem de uvaia em camada de espuma. Na Tabela 3, ainda nota-se diferença significativa em relação ao teor de ácido ascórbico, demonstrada pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), evidenciando que a temperatura de 50 °C possui uma maior retenção deste parâmetro, sendo assim a condição ideal para obtenção da polpa de manga seca em camada de espuma, a fim de preservar propriedades nutricionais desejáveis como a vitamina C, por exemplo, é a temperatura de 50°C a mais adequada.

4 CONCLUSÃO

A secagem em camada de espuma de polpa de manga, apresentou cinética de 420, 250 e 120 min para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente, evidenciando que o tempo foi dependente da temperatura de secagem. O modelo de Page foi escolhido para representação dos dados experimentais em função dos coeficientes de correlação superiores a 0,99, erros com valores inferiores e menor quantidade de parâmetro (princípio da parcimônia). Em relação as análises físico-químicas, verificou-se aumento de pH e teor de cinzas e umidade dependente da temperatura de secagem. Os teores de vitamina C obtidos foram 52,66; 24,66 e 26,32 mg/100g, respectivamente para 50, 60 e 70 °C, indicando, portanto, que, 50 °C é a temperatura ideal para secagem de manga em camada de espuma, a fim de preservar melhor seu valor nutricional.



5 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio financeiro e concessão das bolsas de pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

- DAMIANE, C., BOAS, E. V. B. V., SOARES JUNIOR, M. S., CALIARI, M., DE PAULA, M. L., PEREIRA, D. E. P., SILVA, A. G. M. Análise física, sensorial e microbiológica de geléias de manga formuladas com diferentes níveis de cascas em substituição à polpa. **Ciência Rural**, v. 38, n. 5, p. 1418-1423, 2008.
- DIÓGENES, A. M. G., FIGUEIRÊDO, R. M. F., SOUSA, A. B. B. Análise comparativa de polpas de manga ‘Haden’ integral e formulada. **Agropecuária Técnica**, v. 36, p. 30-34, 2015.
- FEMENIA, A., SASTRE-SERRANO, G., SIMAL, S., GARAU, M. C., EIM, V. S., ROSSELLÓ, C. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 106-112, 2009.
- FILHO, E.D.S. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa da manga cv. Haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande- PB, 2012.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**, São Paulo, Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- MANÇANO, L. F., ALMEIDA, J. M., OLIVEIRA, R. M. R., SOUTO, V. O., ALVES, T. C. O., PEREIRA, V. C. Estudo da secagem em leito de espuma da polpa de manga Haden. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 8, n. 3, p. 15-20, 2018.
- MIDILLI, A., KUCUK, H., VAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertação de Mestrado, Purdue University.
- RIGUETO, C. V. T., EVARISTO, L. M., GERALDI, C. A. Q., COVRE, L. Influência da temperatura de secagem de uvaia (*Eugenia pyriformis*) em camada de espuma. **Engevista**, v. 20, n. 4, p. 537-547, 2018.
- SILVA FILHO, E. D., FIGUEIRÊDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M., GUIMARÃES, M. K. A. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa da manga cv. Haden. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 3, p. 354-361, 2016.