

CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA DE GRAVIOLA PELO PROCESSO FOAM-MAT

C. E. M. R. GURGEL¹, J.T.DIEB², I. P. MACHADO¹, T. N. P. DANTAS¹, e M. F. D. MEDEIROS¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: engcamillagurgel@gmail.com

RESUMO – A graviola se destaca pela riqueza em sais minerais, como cálcio, potássio e magnésio podendo prevenir uma série de doença. Estudou-se a desidratação da polpa de graviola com e sem adição de leite e aditivos (1% de Liga Neutra e 1% de Emustab) pelo processo foam-mat. Neste processo alimentos líquidos e semilíquidos são transformados numa espuma estável pela adição de agentes químicos com propriedades emulsificantes e espessantes. A elevada área de contato da espuma, com o ar facilita a remoção da umidade. O processo é de baixo custo e apresenta vantagens sobre outros métodos de desidratação. Os experimentos foram realizados a partir de um delineamento experimental 2³, com 3 repetições no ponto central, analisando-se os efeitos da temperatura, espessura da camada e concentração de leite na cinética de secagem. A adição do leite e temperaturas mais elevadas aumentaram as taxas e diminuíram o tempo de secagem. Todavia, conforme esperado, maiores espessuras da camada de espuma foram desfavoráveis ao processo.

1. INTRODUÇÃO

A gravioleira (*Annona muricata* L.), da família Annonacea, cuja secagem de seus frutos é objeto de estudo neste trabalho, é uma das importantes frutíferas cultivadas no nordeste brasileiro, principalmente nos estados da Paraíba, Ceará, Pernambuco e Bahia. Os seus frutos são utilizados na fabricação de sucos, sorvetes, compotas, geleias e doces, apresentam casca verde-escura, polpa branca aromática e sementes negras ou marrons envoltas pela polpa (SACRAMENTO et al., 2003).

Atualmente as pesquisas voltadas para a produção de polpas de frutas em pó tem se intensificado. Entre os processos estudados destaca-se a desidratação em camada de espuma que tem como característica a rápida secagem de alimentos líquidos e pastosos como sucos, purê e polpas de frutas (MARQUES, 2009). Suas principais vantagens quando comparada a outros métodos como spray ou tambor são a baixa temperatura e curto tempo de secagem.

O líquido é transformado em espuma, pela adição de pequena porção de um agente espumante e a incorporação de ar ou outros gases como o nitrogênio por injeção direta ou agitação. Também são adicionados agentes estabilizantes para manter a estabilidade da espuma

durante a secagem. Com a adição do espumante a densidade da espuma diminui, uma vez que uma maior quantidade de ar é incorporada durante a mistura (FALADE; ADEYANJU; USO-PETERS, 2003). A espuma é distribuída em camadas finas sobre bandejas e levada ao secador, em temperaturas relativamente baixas (menor ou igual a 70°C). O produto desidratado é moído e convertido em pó (KADAM et al., 2010).

No presente trabalho são apresentados os resultados relativos ao estudo da cinética de secagem em camada de espuma da polpa de graviola com e sem adição de leite e aditivos (1% de Liga Neutra e 1% de Emustab). Considerando-se a importância das variáveis temperatura e espessura na secagem em camada de espuma, bem como o caráter emulsificante do leite, os experimentos foram realizados com base em um delineamento 2^3 com 3 réplicas no ponto central, visando-se analisar os efeitos destas variáveis sobre a cinética de secagem. Foi ajustado o modelo de Page aos dados experimentais da razão de umidade em função do tempo, que se mostrou adequado para representar a cinética de secagem da graviola em camada de espuma.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas polpas de graviola, leite fluido e aditivos (1% Emustab e 1% Liga neutra), adquiridos no mercado local. A polpa, o leite e as espumas foram analisadas, determinando-se o pH (potenciômetro digital), e o teor de sólidos solúveis (refratômetro digital) conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). O teor de umidade foi determinado em balança de umidade com aquecimento a infravermelho. Na Tabela 1 apresenta-se o delineamento dos experimentos realizados nas diferentes condições de concentração de leite, temperatura e espessura da camada de espuma.

Tabela 1 – Condições operacionais dos ensaios de secagem – Delineamento experimental

Ensaios	Leite (%p/p)	Temperatura (°C)	Espessura (cm)
01	0 (-1)	50 (-1)	0,30 (-1)
02	40 (1)	50 (-1)	0,30 (-1)
03	0 (-1)	70 (1)	0,30 (-1)
04	40 (1)	70 (1)	0,30 (-1)
05	0 (-1)	50 (-1)	0,60 (1)
06	40 (1)	50 (-1)	0,60 (1)
07	0 (-1)	70 (1)	0,60 (1)
08	40 (1)	70 (1)	0,60 (1)
09	20 (0)	60 (0)	0,45 (0)
10	20 (0)	60 (0)	0,45 (0)
11	20 (0)	60 (0)	0,45 (0)

No preparo e secagem da espuma a seguinte metodologia foi adotada: descongelamento e pesagem da polpa de graviola com adição do leite na proporção pré-definida pelo delineamento experimental e os aditivos (1% de Liga Neutra e 1% de Emustab); batimento constante em batedeira doméstica por 20 minutos, de modo a formar uma espuma com características adequadas à secagem rápida; distribuição da espuma em placa de alumínio; secagem em estufa com circulação de ar, com acompanhamento da perda de água através da pesagem sistemática da placa até alcançar peso constante; raspagem da placa para retirada do material desidratado, pesagem e trituração em liquidificador doméstico para obtenção do pó; determinação da umidade do pó. As placas foram dimensionadas para processar um volume fixo de 225 cm³, mantendo-se as espessuras nos níveis definidos no delineamento experimental, 0,45 cm, 0,60 cm e 0,30 cm. Antes de iniciar os experimentos a temperatura da estufa era estabilizada na condição a ser mantida na secagem, 50°C, 60°C e 70°C.

As massas específicas tanto das espumas como da polpa de graviola com e sem adição de leite, foram determinadas em triplicata por picnometria líquida, utilizando-se picnômetros padrões de 50 mL previamente calibrados. A expansão das espumas foi calculada a partir da Equação (1).

$$Exp(\%) = \frac{1/\rho_{espuma} - 1/\rho_{polpa}}{1/\rho_{polpa}} \times 100 \quad (1)$$

Considerando a umidade de equilíbrio como a umidade alcançada ao se atingir peso constante, foram calculadas pela Equação (2), para cada conjunto de dados experimentais as razões de umidade (RU). Aos dados da razão de umidade em função do tempo foi ajustado o modelo matemático de Page, representado pela Equação (3), utilizando-se o programa Statistic 7.0.

$$RU = \frac{U_{bs} - U_{eq}}{U_{bsi} - U_{eq}} \quad (2)$$

$$RU = \exp(-kt^n) \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os resultados referentes às análises físico-químicas, às massas específicas e a expansão das espumas.

Tanto a polpa como as espumas apresentam pH ácido conforme era esperado. Em relação à polpa de graviola as espumas com adição de leite apresentam pH discretamente mais elevado, devido a alcalinidade do leite. Com adição dos adjuvantes o teor de sólidos solúveis da espuma

sem adição do leite aumenta, todavia ao se adicionar o leite o teor de sólidos solúveis diminui, certamente devido a possíveis interações entre os constituintes da mistura.

Tabela 2 – Resultados das análises físico-químicas da polpa de graviola, leite e espumas

	pH	SST °Brix	Umidade (%)	Densidade (g.cm ⁻³)	Expansão (%)
Polpa	3,5±0,03	10,4±0,03	88,36±0,03	1,03	-
Leite	7,2±0,01	12,9±0,02	87,6±0,02	1,02	-
Espuma0%	3,6±0,03	12,2±0,04	86,35±0,02	0,61±0,05	68,3±3,73
Espuma20%	3,9±0,02	11,5±0,03	86,78±0,02	0,38±0,05	169,1±7,2
Espuma40%	4,3±0,03	10,1±0,03	86,53±0,02	0,37±0,05	172,1±5,29

As massas específicas das espumas apresentam valores muito inferiores às da polpa e do leite e estão compreendidas na faixa recomendada para a secagem em camada de espuma (0,1 a 0,6 g/cm, conforme VAN ASDEL,1964), o que evidencia a expansão das mesmas. Com adição do leite verifica-se uma maior expansão, superior a 100%, uma vez que o leite também atua como agente formador de espuma. Todavia, a variação na concentração de leite de 20% para 40% não modificou tanto a expansão.

As curvas de secagem da espuma de graviola, representadas pela umidade em base seca em função do tempo, para todas as condições estabelecidas no delineamento experimental são exibidas na Figura 1.

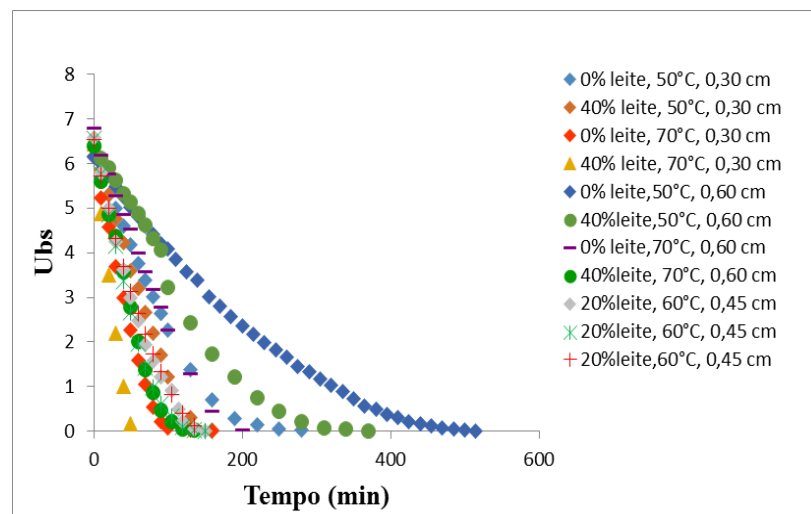


Figura 1 – Curvas de secagem da espuma de graviola com e sem adição de leite.

Percebe-se para todas as condições ilustradas que as espumas secaram muito rápido no início do processo, sendo possível visualizar em todas as curvas um importante período de taxa constante. O tempo de secagem para atingir a condição de equilíbrio foi bastante reduzido em função da temperatura, concentração de leite e espessura da camada de espuma. O maior tempo de secagem para atingir o equilíbrio foi de 515 minutos para a temperatura de 50°C e espessura de 0,6 cm sem adição do leite. O menor tempo para atingir o equilíbrio foi 60 minutos para a temperatura de 70°C e espessura de 0,3cm, com adição de 40% de leite.

De maneira geral para a concentração de leite de 40%, o tempo de estabilização foi menor para todas as condições de temperatura e espessura da camada de espuma. Este resultado é justificado pela maior expansão da espuma com adição do leite devido ao ser caráter espumante. Espumas mais expandidas apresentam maiores áreas de transferência de calor e massa.

Considerando o importante período de taxa constante identificado nas curvas ilustradas na Figura 1, determinou-se para todos os experimentos a taxa de secagem neste período a partir da quantificação da massa acumulativa de água evaporada em cada intervalo de tempo, construindo-se as curvas ilustradas na Figura 2. Foi determinada em cada experimento a massa de sólidos (massa seca) processada e o tratamento dos dados experimentais refere-se à massa específica evaporada (massa evaporada / massa seca).

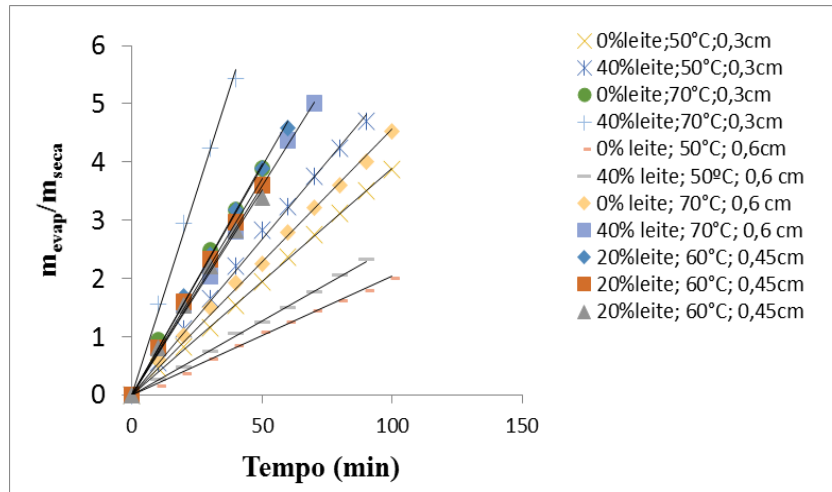


Figura 2 - Massa específica evaporada em função do tempo para o período de taxa constante.

Na Figura 2 observa-se o efeito da concentração de leite, espessura da camada e temperatura sobre as taxas específicas de secagem, compreendidas como a inclinação das retas que representam os dados da massa específica evaporada em função do tempo. Para os experimentos em que a espessura foi fixada em 0,3 cm na mesma condição de temperatura a taxa de secagem aumenta com a adição do leite e para a mesma condição de adição de leite, as taxas aumentam com a temperatura. Pelo comportamento observado o efeito da temperatura supera o

efeito da adição do leite. Para a espessura de 0,6 cm, o comportamento se repete, todavia na temperatura de 50°C o efeito da adição do leite se reduz.

O comportamento linear da massa específica evaporada em função do tempo evidencia a taxa específica constante de secagem, determinada pela inclinação das retas ajustadas a cada conjunto de dados experimentais. As taxas de secagem e os coeficientes de correlação da regressão linear são mostrados na Tabela 3 para todo o conjunto de dados analisados.

Tabela 3 – Taxas de secagem no período de taxa constante.

Ensaio	Taxa de secagem (g de água/g de massa seca. min)	R ²
01	0,039	0,9992
02	0,0536	0,997
03	0,0796	0,9967
04	0,1368	0,9958
05	0,0219	0,9962
06	0,0256	0,9985
07	0,0456	0,9947
08	0,0719	0,9979
09	0,0744	0,9979
10	0,0782	0,9962
11	0,0707	0,9973

As taxas específicas de secagem variaram entre 0,0219 e 0,1398 g de água/ g de m_{seca}.min, experimentos 5 e 4, realizados nas temperaturas de 50°C, e 70°C, concentração de leite de 0% e 40% e espessuras de 0,6 e 0,3 cm, respectivamente. Este resultado corrobora com a discussão sobre os efeitos das variáveis de processo na taxa específica de secagem.

Foram ajustados aos dados da razão de umidade em função do tempo para o período completo de secagem, incluindo o de taxa constante e decrescente, o modelo de Page. Na Figura 3 encontram-se representados os dados experimentais e as curvas ajustadas pelo modelo de Page. Conforme se observa as curvas representam satisfatoriamente os dados experimentais. Para determinação dos parâmetros do modelo utilizou-se o software STATISTICA 7.0. A Tabela 5 exibe os parâmetros do modelo para as diferentes condições de secagem da espuma com e sem adição de leite e respectivos coeficientes de correlação (R²) e erros relativos (E).

. O modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais com coeficientes de correlação superiores a 99%, e erros relativos que variaram de um mínimo de 1,37 a um máximo de 2,56%. O parâmetro K representa uma taxa específica de secagem média e sofre influência das resistências externas. Conforme se observa na Tabela 5, K aumentou com a temperatura e concentração de leite, diminuído com a espessura. Em relação aos efeitos da temperatura e espessura, o mesmo comportamento foi observado por Silva et al. (2008) e Alexandre (2005) ao estudarem a cinética de

secagem em camada de espuma do tamarindo e da pitanga

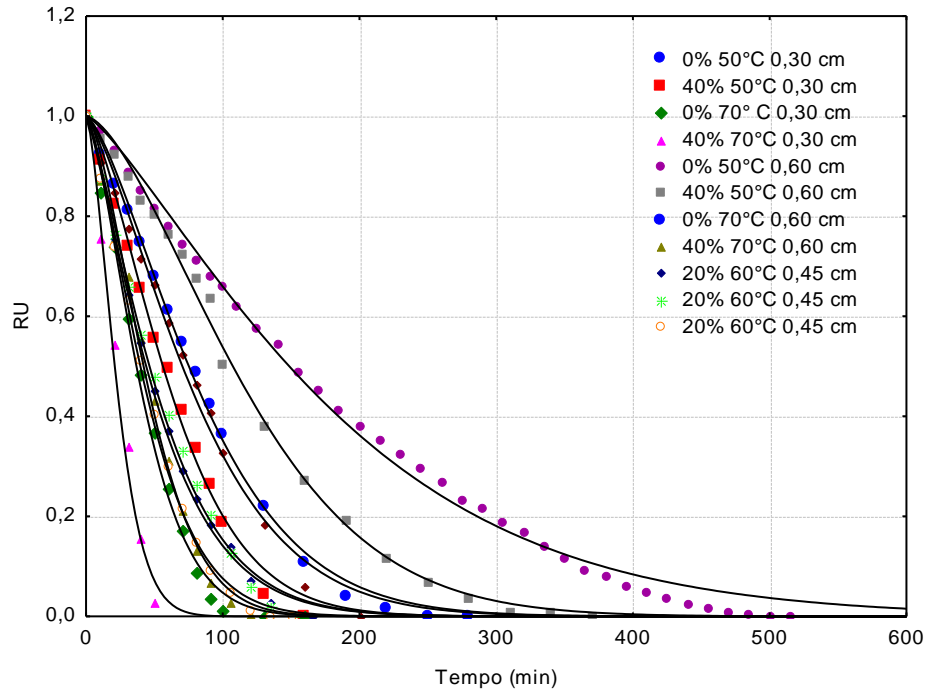


Figura 3 - Razão de umidade em função do tempo, dados experimentais e preditos pelo modelo de Page

Tabela 5 - Parâmetros do modelo de Page, coeficientes de correlação (R^2) e erros (E)

Ensaio	Leite (%p/p)	Temperatura (°C)	Espessura (cm)	k (min^{-1})	n	R^2	E (%)
01	0 (-1)	50 (-1)	0,30 (-1)	0,00138	1,438	0,998	1,642
02	40 (1)	50 (-1)	0,30 (-1)	0,00195	1,458	0,996	2,164
03	0 (-1)	70 (1)	0,30 (-1)	0,00325	1,486	0,997	2,011
04	40 (1)	70 (1)	0,30 (-1)	0,00631	1,543	0,996	2,555
05	0 (-1)	50 (-1)	0,60 (1)	0,00111	1,286	0,997	1,579
06	40 (1)	50 (-1)	0,60 (1)	0,00045	1,571	0,998	1,645
07	0 (-1)	70 (1)	0,60 (1)	0,00174	1,407	0,994	2,558
08	40 (1)	70 (1)	0,60 (1)	0,00083	1,706	0,994	2,333
09	20 (0)	60 (0)	0,45 (0)	0,00577	1,265	0,998	1,373
10	20 (0)	60 (0)	0,45 (0)	0,00365	1,424	0,998	1,459
11	20 (0)	60 (0)	0,45 (0)	0,00470	1,297	0,996	2,094

4. CONCLUSÃO

A secagem da polpa de graviola com adição do leite em camada de espuma apresentou

importante período de taxa constante que deve ser considerado em estudos posteriores que visem à otimização do processo, uma vez que neste período as taxas são fortemente influenciadas pelas variáveis externas. Confirmou-se o efeito da temperatura no sentido de aumentar as taxas de secagem, todavia deve-se considerar que temperaturas muito elevadas podem comprometer a qualidade do produto. Espumas mais espessa apresentaram menores taxas, mas é válido evidenciar que para o mesmo volume processado as espumas mais finas vão requerer maior área de exposição ao ar, o que implica na utilização de secadores maiores. A adição do leite promoveu maior expansão da espuma aumentando as taxas e diminuindo o tempo de secagem e pode vir a ser utilizado na formação de espumas sem a necessidade de outro aditivo espumante. O modelo de Page se ajustou bem aos dados experimentais podendo representar a cinética de secagem da graviola em camada de espuma. Os resultados conduzem a um estudo de otimização mais rigoroso das condições do processo que possam viabilizar o projeto e operação de secadores eficientes.

5. NOMENCLATURA

Exp - expansão da espuma (%)

k - constante da equação (min^{-1});

n - constante adimensional do modelo de Page

RU - Razão de umidade

t - tempo (min)

U_{bs} - umidade em base seca ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg sólido}$)

U_{bsi} - umidade em base seca inicial ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg sólido}$)

U_{sq} - umidade de equilíbrio ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg sólido}$)

ρ - massa específica (g.cm^{-3}).

6. REFERÊNCIA

ALEXANDRE, H. V. *Secagem da polpa de pitanga e armazenamento do pó*. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Campina Grande, 2005.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. *Eur. Food Res. Technol.* Pg. 486 – 491. 2003.

MARQUES, G.M.R, *Secagem do caldo de cana em leito de espuma e análise sensorial do produto*. 2009. 84f. Dissertação. Itapetinga – BA.

SACRAMENTO, C. K. et al. Caracterização física e química de frutos de três tipos de gravioleira (*Annona muricata* L.). *Ver. Bras. Frutic.*, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, p. 329-331, agosto, 2003a.

SOARES, E.C.; OLIVEIRA, G.S.F.; MAIA, G.A.; MONTEIRO, J.C.S.; SILVA Jr., A.S.; FILHO, M.S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo foam-mat. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas-SP, v. 21, n. 2, p.164-170, 2001.

VAN ARSDEL; COPLEY. *Food dehydr.* Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, 1964. v.2, 721 p.