

**Modelagem matemática da cinética de secagem em camada de espuma da folha da gravioleira (*Annona muricata* Linn) e caracterização do pó obtido**

**Mathematical modeling of drying kinetics in foam-mat drying of soursop (*Annona muricata* Linn) leaf and Characterization of the obtained powder**

**Modelado matemático de cinética de secado de la capa de espuma de la hoja de guanábana (*Annona muricata* Linn) y caracterización del polvo obtenido**

Recebido: 13/02/2020 | Revisado: 17/02/2020 | Aceito: 19/02/2020 | Publicado: 17/03/2020

**Bárbara Freire de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8469-4729>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [barbara\\_freire@hotmail.com](mailto:barbara_freire@hotmail.com)

**Jéssica Kelly da Silva Negreiros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3023-1454>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [jessica\\_k\\_ell@hotmail.com](mailto:jessica_k_ell@hotmail.com)

**Karina Soares do Bonfim**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7327-151X>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [bonfimks@gmail.com](mailto:bonfimks@gmail.com)

**Josilene de Assis Cavalcante**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1179-1576>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [josy\\_cavalcante@yahoo.com.br](mailto:josy_cavalcante@yahoo.com.br)

**Márcia Ferraz Pinto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8545-468X>

Faculdade Nova Esperança, Faculdade de Enfermagem, Brasil

E-mail: [marferrazp@yahoo.com.br](mailto:marferrazp@yahoo.com.br)

**Nagel Alves Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1724-2677>

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

E-mail: [nagelalves@hotmail.com](mailto:nagelalves@hotmail.com)

## Resumo

A graviola (*Annona muricata* L.) vem se destacando pelas diferentes atribuições na área medicinal, sendo as folhas uma das partes mais estudadas pelo uso tradicional na forma de chás. Este trabalho teve por objetivo produzir o pó da folha da graviola pelo método de secagem de espuma, utilizando Portogel® como agente espumante. Foram verificadas a influência das variáveis, concentração de emulsificante, tempo de agitação e temperatura de secagem. Foram realizadas caracterizações físicas da espuma da folha de graviola: densidade, percentual de expansão e estabilidade da espuma. Com os dados da cinética de secagem foi possível obter os ajustes aos modelos matemáticos não lineares e com os pós obtidos foram realizadas as seguintes caracterizações físico-químicas: atividade de água (aw), rendimento, granulometria, pH, sólidos solúveis totais, acidez titulável total (ATT), índice de solubilidade em água (ISA), atividade antioxidante total e fenólicos totais. Todos os experimentos apresentaram uma curva típica de secagem, representadas por um período de taxa constante e uma taxa decrescente. Para os ajustes aos modelos matemáticos não lineares, os que melhor representaram os dados experimentais foram os de Page e Page Modificado. Um teor máximo de umidade de 4,10g/100g, atividade de água (aw) inferior a 0,406, um pH levemente ácido, uma teor de sólidos solúveis totais de aproximadamente 47° Brix e acidez titulável total (ATT) na faixa de 2 g ácido cítrico/100g. A atividade antioxidante pelo método DPPH e fenólicos totais, apresentaram os maiores valores nas condições mínimas de secagem sendo eles: 121,07  $\mu\text{mol Tx/g}$  e 1420 mg GAE/100g de pó, respectivamente. O processo de secagem da folha da graviola pelo método de camada de espuma se mostrou satisfatório quanto aos parâmetros avaliados.

**Palavras-chave:** Estabilidade; Modelos matemáticos; Atividade de água; Antioxidante; Fenólicos.

## Abstract

The soursop (*Annona muricata* L.) stands out for the different attributions in the medicinal area, highlighting the leaves by their traditional use in the form of teas. This work had the objective of producing the powder of the soursop leaf by the method of foam-mat drying using the Portogel® as foaming agent. The influence of the variables, emulsifier concentration, agitation time and temperature drying were verified. Physical characterizations of the soursop leaf foam were performed: density, percentage of expansion and foam stability. With the data of the drying kinetics it was possible to obtain the adjustments to the non-linear mathematical models and with the obtained powders the following physical chemical

characterizations were performed moisture content, water activity, pH, total soluble solids, total titratable acidity, water solubility index, total antioxidant activity and total phenolics. All experiments showed a typical drying curve, represented by a constant rate period and a decreasing rate. For the adjustments to the nonlinear mathematical models, those that best represented the experimental data were those of Page and Page Modified. A maximum moisture content of 4,10g/100g, water activity was lower than 0.406, a slightly acidic pH, a total soluble solids content of approximately 47 °Brix and total titratable acidity in the range of 2 g citric acid/100 g. The antioxidant activity by the DPPH and total phenolics presented higher values in the minimum drying conditions, being: 121.07  $\mu\text{molTx/g}$  and 1420 mg GAE/100g of powder, respectively. The drying process of the soursop leaf by the foam layer method was satisfactory in terms of the evaluated parameters.

**Keywords:** Stability; Mathematical models; Water activity; Antioxidant; Phenolics.

### Resumen

La guanábana (*Annona muricata* L.) há ganado protagonismo por sus distintos usos en el campo de la medicina, especialmente las hojas, que son una de las partes más estudiadas por su uso tradicional en forma de té. Este trabajo tuvo como objetivo producir el polvo de hoja de guanábana por el método de secado de espuma, utilizando Portogel® como agente espumante. Han sido verificados la influencia de las variables, la concentración de emulsionante, el tiempo de agitación y temperatura de secado. Se realizaron caracterizaciones físicas de la espuma de la hoja de guanábana: densidad, porcentaje de expansión y estabilidad de la espuma. Con los datos de la cinética de secado fue posible hacer los ajustes a modelos matematicos no lineales y con lo obtenido se realizaron las siguientes caracterizaciones fisicoquímicas: actividad de agua (aw), rendimiento, granulometría, pH, solidos solubles totales (ATT), indice de solubilidad en agua (ISA), actividad antioxidante total y fenólicos totales. Todos los experimentos han presentado una curva de secado típica, representado por un período de contenido constante y un contenido decreciente. Para ajustes de modelos matematicos no lineales, los que mejor representaban los datos experimentales fueron los de Page y Page Cambiado. Contenido de humedad máxima de 4,10g/100g, actividad de agua (aw) inferior a 0,406, pH ligeramente ácido, contenido de solidos solubles totales de aproximadamente 47, Brix y acidez titulable total (ATT) en cerca de 2g acido citrico/100g. La actividad antioxidande por el método DPPH y fenólicos totales presentó los valores más altos en las condiciones mínimas de secado, siendo ellos: 121,07 07  $\mu\text{mol Tx/g}$  y 1420 mg

GAE/100g de polvo, respectivamente. El proceso de secado de la hoja de guanábana por el método de la capa de espuma fue satisfactoria en términos de los parámetros evaluados.

**Palabras clave:** Estabilidad; Modelos matemáticos; Actividad en água; Antioxidante; Fenólicos.

## 1. Introdução

A *Annona muricata* L. é conhecida popularmente, no Brasil, por graviola e pertencente a família Annonaceae. É consumida como fruta fresca, entretanto, para o mercado consumidor é mais interessante na forma de sorvete, suco e néctar; é considerada uma fruta típica para a industrialização, pois sua polpa não oxida como as demais (Silva & Garcia, 1999). Já na medicina natural, partes da gravioleira como cascas, raízes, folhas, polpa e sementes são ricas em compostos bioativos e têm sido utilizadas para uma ampla gama de doenças humanas (Freitas, Moraes & Silva, 2017).

Diversas atribuições são dadas as diferentes partes da árvore (cascas, raízes, folhas, flores e as sementes da fruta). As folhas são tradicionalmente utilizadas, na forma de chá, para tratar dores de cabeça, hipertensão, tosse, asma e usadas como antiespasmódicos, sedativas e nervosas para doenças cardíacas (Taylor, 2005; Lans, 2006). Os extratos das folhas são antibacterianos (Alfaia & Almeida, 2016), antifúngicos (Heinrich et al., 1992), anti-inflamatórios e analgésicos (Roslida, Tay, Zuraini & Chan, 2010; Sousa, Vieira, Jesus, Yamamoto & Alves, 2010). Como principal composto tem-se a acetogenina seguida de alcaloides, fenóis, vitaminas e carotenoides que também foram identificados nas folhas (Coria-Telles, Montalvo-Gonzales, Yahia & Obledo-Vazquez, 2016). Além da presença do composto acetogeninas, a folha da graviola possui compostos fenólicos conferindo-a alta capacidade antioxidante (Baskar, Rajeswari & Kumar, 2007; Yang et al., 2015), altos teores de proteína (Vijayameena, Subhashini, Loganayagi & Ramesh, 2013) e 1,8% de óleo essencial rico em beta-cariofileno, gama-cadineno e alfa-elemento (Freitas, Moraes & Silva, 2017).

Devido às propriedades antioxidantes, a graviola vem sendo objeto de diversos estudos, uma vez que, os antioxidantes naturais de extratos de plantas apresentam baixa toxicidade em relação aos antioxidantes sintéticos (Soares et al., 2008).

A vida útil da maioria dos vegetais é muito curta após a sua colheita, principalmente se forem mantidas a temperatura ambiente. Diante disso, a produção de pós acaba sendo uma

alternativa viável e amplamente empregada para a conservação dos vegetais, gerando insumos para diversas indústrias, como por exemplo, a alimentícia, a agroquímica e a farmacêutica.

Um dos processos mais utilizados para aumentar a vida útil dos produtos é a secagem, os quais podem ser estocados em temperatura ambiente sem a necessidade de refrigeração, transformam alimentos perecíveis em produtos estabilizados, reduzindo as perdas pós-colheita, tendo como consequência, menores gastos com a conservação (Mei Ling & Rabiha, 2018; Furtado, Silva, Porto & Santos, 2010).

A velocidade de deterioração do material é reduzida no processo de secagem através da redução do seu teor de água, atuando regressivamente na ação das enzimas e assim possibilitando a conservação do produto por mais tempo.

Os modelos matemáticos são ferramentas úteis para estimar o tempo necessário para redução do teor de água do produto no processo de secagem, sob diferentes condições, auxiliando nas tomadas de decisão e contribuindo na melhoria da eficiência do processo (Afonso Júnior & Corrêa, 1999).

Dentre os processos de secagem, tem-se o método camada de espuma, que é considerado um processo simples e de baixo custo, que se vale da utilização de agentes espumantes que tem a função de facilitar e manter a estabilidade da espuma durante o processo (Silva Filho, Figueiredo, Queiroz & Guimarães, 2016).

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo a caracterização física da espuma da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) e a caracterização físico-química do pó obtido pelo método de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) avaliando a modelagem matemática a cinética de secagem em diferentes temperaturas.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Preparo da matéria-prima**

As folhas de graviola foram provenientes da agricultura familiar do município de Cabedelo, no estado da Paraíba. Após a colheita, foram selecionadas as folhas com coloração verde mais intenso, assim como as que não apresentaram nenhum dano mecânico e/ou com pragas. Em seguida, feita a sanitização, segundo a Resolução RDC nº 216/2004.

Posteriormente foi preparado um derivado vegetal das folhas, onde foi utilizada a proporção massa da folha/água destilada de 1:3, onde a mistura foi homogeneizada em liquidificador industrial de alta rotação da Metvisa, por 3 min em potência máxima, sendo

essas condições fixadas para a realização de todos os experimentos, por fim, a mistura obtida foi peneirada em peneira comum.

## 2.2 Planejamento Experimental Fatorial Completo

Para a produção do pó da folha da graviola foram realizados experimentos para verificar a influência da concentração do emulsificante Portugel®, do tempo de agitação para a produção da espuma e da temperatura de secagem. Os experimentos foram realizados a partir de um planejamento experimental fatorial completo  $2^3$ , com 3 repetições no ponto central, em um total de 11 experimentos, onde os valores não codificados foram definidos a partir de testes preliminares.

Sendo definidas as seguintes condições: concentrações do emulsificante (3%, 4% e 5%), tempo de agitação (3 min, 4 min e 5 min) e temperatura de secagem (50 °C, 60 °C, 70 °C).

## 2.3 Produção da espuma

Para a produção da espuma foi utilizado o emulsificante Portugel®. O derivado vegetal, juntamente com o emulsificante, foi batido em batedeira Planetária Deluxe da Arno para a produção da espuma, em velocidade máxima fixada para a realização de todos os experimentos.

## 2.4 Secagem em camada de espuma

As formulações produzidas nas condições da matriz do planejamento experimental fatorial completo foram dispostas em bandeja de alumínio em formato retangular com dimensões de 36 cm de comprimento e 25 cm de largura, previamente tarada, com espessura da camada de espuma fixada em 0,5 cm e levadas para estufa com circulação de ar na temperatura definida. Após verificação de peso constante na bandeja, o material seco foi removido com auxílio de espátulas, pesados, e posteriormente acondicionado em embalagens de saco plástico de polietileno, hermeticamente fechadas e identificadas, em temperatura ambiente, para sua análise.

Com os dados obtidos experimentalmente, das cinéticas de secagem, foram calculadas as razões do teor de água das amostras, de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Onde: RX = Razão do teor de água da amostra (adimensional); X = Teor de água da amostra em um determinado tempo de secagem (b.s); Xi = Teor de água inicial da amostra (b.s); Xe = Teor de água de equilíbrio da amostra (b.s).

Como também, com os dados de teor de água (b.s), da folha da graviola, nos tempo de secagem determinados, foram calculados as taxas de secagem, de acordo com a Equação 2.

$$TX = -\frac{m_{ss}}{A} * \frac{dX_{bs}}{dt} \quad (2)$$

Onde: TX = taxa de secagem (g/cm<sup>2</sup>.min); m<sub>ss</sub> = massa de sólidos secos da amostra (g); A = área de secagem (cm<sup>2</sup>); X<sub>bs</sub> = umidade em base seca; t = tempo (min).

## 2.5 Ajustes dos dados experimentais da secagem da folha da graviola com modelos matemáticos

Para o ajuste das curvas de secagem foram utilizados os modelos matemáticos de secagem descritos na Tabela 1. Para a escolha dos modelos matemáticos utilizados (Tabela 1), foram levados em considerações os que são mais frequentes utilizados para o método de secagem em camada de espuma. A análise de regressão não linear, foi realizada pelo método de Gauss-Newton, com o auxílio do programa STATISTICA 6.0. Para avaliar o modelo que melhor reproduziu os dados das cinéticas, foi verificado o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e erro padrão da estimativa (S).

**Tabela 1** - Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem.

MODELO	REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA	EQUAÇÃO
PAGE	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	(3)

$$\text{HENDERSON e PABIS} \quad RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (4)$$

$$\text{NEWTON} \quad RX = \exp(-k \cdot t) \quad (5)$$

$$\text{PAGE MODIFICADO} \quad RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) \quad (6)$$

---

Onde: RX = razão do teor de água do produto (adimensional); t = tempo de secagem (h); k = coeficientes de secagem; a, n = constantes dos modelos matemáticos. Fonte: (Akpınar, 2006).

## 2.6 Análises das propriedades da espuma

### 2.6.1 Densidade da Espuma

A densidade da espuma foi determinada a partir da relação entre a massa medida e o volume ocupado pela mesma em uma proveta graduada e em temperatura ambiente ( $25 \pm 1$  °C) (Araújo et al., 2017, Brock et al., 2008). Após a medição da massa e do volume a densidade foi calculada de acordo com a Equação 7.

$$\rho_{\text{amostra}} = \frac{m_{\text{amostra}}}{V_{\text{proveta}}} \quad (7)$$

Onde:  $\rho_{\text{amostra}}$  = densidade da amostra ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $m_{\text{amostra}}$  = massa da amostra (g);  $V_{\text{proveta}}$  = volume ocupado pela massa da amostra ( $\text{cm}^3$ ).

### 2.6.2 Expansão da espuma

O percentual de expansão de cada espuma foi calculado a partir dos valores previamente calculados de densidade do derivado vegetal e de suas respectivas espumas, conforme a Equação 8, segundo a metodologia de Feitosa; Figueirêdo; Queiroz; Lima & Oliveira (2017):

$$\% \text{expansão} = \frac{(\rho_{\text{derivado vegetal}} - \rho_{\text{espuma}})}{\rho_{\text{espuma}}} \quad (8)$$



Onde: %expansão = percentual de expansão da espuma (%);  $\rho_{\text{espuma}}$  = densidade da espuma ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $\rho_{\text{derivado vegetal}}$  = densidade do derivado vegetal ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 2.6.3 Estabilidade da espuma

A metodologia utilizada foi a descrita por Sauter & Montoure (1972) e adaptado por Karim & Wai (1999), onde a cada 10 minutos eram medidos o volume de líquido desprendido da espuma.

## 2.7 Caracterização do derivado vegetal e do seu pó obtido por secagem em camada de espuma

### 2.7.1 Determinação de atividade de água (aw)

A atividade de água (aw) foi determinada através de leitura direta da amostra no medidor de água, modelo Novasina, na temperatura 30 °C.

### 2.7.2 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado a partir de um pHmetro digital, calibrado com soluções tampão de pH 4, 7 e 10. Baseado na metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

### 2.7.3 Determinação de sólidos solúveis totais – SST (°Brix)

Para a determinação de SST foi feita uma diluição do pó em água destilada (1:10), onde, após a homogeneização e centrifugação da mistura, a leitura foi realizada em um refratômetro da marca Nova Instruments ABBE, calibrado com água destilada, em temperatura ambiente (25 °C), com os resultados expressos em °Brix. Baseado no método do Instituto Adolfo Lutz (2008).

### 2.7.4 Determinação da Acidez Total Titulável (ATT)

A acidez por volumetria potenciométrica foi baseada na metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). O cálculo da acidez foi expresso em g de ácido cítrico como mostrado na Equação 9.

$$ATT = \frac{V \cdot f \cdot M \cdot PM}{10 \cdot P \cdot n} \quad (9)$$

Onde: ATT = acidez (g de ácido cítrico orgânico %); V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL); M = molaridade da solução de hidróxido de sódio; P = massa da amostra (g); PM = peso molecular do ácido cítrico; f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio; n = número de hidrogênio ionizáveis.

#### 2.7.5 Determinação do Índice de Solubilidade em Água (ISA)

A metodologia utilizada foi baseada nas modificações que Cano-Chauca, Stringheta, Ramos & Cal-Vidal (2005) realizaram para o método de Eastman & Moore (1984), onde foram adicionados 50 mL de água destilada em 0,5 g do pó, em seguida a mistura foi homogeneizada e centrifugada e uma alíquota de 12,5 mL do sobrenadante foi levada, em placa de Petri, para a estufa a temperatura de 105 °C até toda evaporação do líquido. A determinação da porcentagem de solubilidade foi dada a partir da Equação 10.

$$\% \text{Solubilidade} = \frac{(m_{\text{residual}} - m_{\text{tara}}) \cdot V_{\text{solução}}}{V_{\text{alíquota}} \cdot m_{\text{amostra}}} * 100\% \quad (10)$$

Onde:  $m_{\text{residual}}$  = massa residual obtida após evaporação (g);  $m_{\text{tara}}$  = massa da placa de Petri vazia (g);  $V_{\text{solução}}$  = volume total da solução (mL);  $V_{\text{alíquota}}$  = volume da alíquota submetido à secagem (mL);  $m_{\text{amostra}}$  = massa inicial da amostra (g).

#### 2.7.6 Preparo do extrato da amostra

Para a extração foram pesados aproximadamente 1 g de pó de cada amostra, adicionou-se 40 mL de metanol e as soluções foram submetidas a agitação por 3 h. Em seguida, foi realizada a centrifugação dos extratos a 5.000 rpm, por 10 min, e os sobrenadantes recuperados. O extrato foi seco em estufa de circulação de ar (Solab, modelo SL102) a 35 °C. Em seguida, com metanol, foi preparado o extrato na concentração de 5 mg/mL.

#### 2.7.7 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH

A atividade antioxidante total foi analisada através da capacidade dos antioxidantes presentes na amostra em sequestrar o radical estável DPPH•(2,2-difenil-1-picril-hidrazina), segundo Brand-Williams, Cuvelier & Berset (1995). A quantificação da Atividade Antioxidante foi expressa como média  $\pm$  desvio-padrão em  $\mu$ MTrolox.g-1 extrato (capacidade antioxidante equivalente ao Trolox).

#### 2.7.8 Determinação de fenólicos totais

A metodologia para análise de compostos fenólicos totais foi feita pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteau (Singleton, Orthofer & Lamuela-Raventós, 1999). A quantificação de fenólicos totais foram expressos como média  $\pm$  desvio-padrão em mg equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 g de pó.

#### 2.8 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada pela análise de variância (ANOVA) para uma probabilidade de significância de 0,05 utilizando o Statistica 6.0. O teste de Tukey foi utilizado para determinar se houve diferença significativa para os diferentes níveis de um fator.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Densidade e Expansão da Espuma

Na Tabela 2 pode ser observado que nas condições de menor concentração do emulsificante e menor tempo de agitação foi encontrado o maior valor de densidade (0,0941). O menor valor de densidade (0,0628) foi encontrado nas condições de 4% e 4 minutos de concentração de emulsificante e tempo de agitação, respectivamente. Azizpour, Mohebbi, Khodaparast & Varidi (2013) reportam que essa diminuição do valor da densidade das espumas é um indicativo de maior volume de ar retido na espuma durante a etapa de agitação. E menores valores de densidade são desejáveis por facilitar e acelerar a difusão da água pela espuma e conseqüentemente um menor tempo de secagem. Karim & Wai (1999) ao trabalharem com polpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.) relatou resultados similares ao

comportamento da densidade da espuma assim como Balasubramanian, Paridhi, Bosco, & Kadam (2012) ao trabalharem com tomate.

A maior expansão encontrada se refere às condições de 4% e 4 minutos de concentração de emulsificante e tempo de agitação, respectivamente, com seu valor em torno de 1500%, como pode ser verificado na Tabela 2, onde também é observado que para uma menor densidade da espuma foi obtido uma maior incorporação e retenção de ar, o que ocasionou uma maior expansão da espuma. Tanto para a densidade da espuma como para a expansão, houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ), para as diferentes concentrações de emulsificante e tempo de agitação.

**Tabela 2:** Propriedades da espuma do derivado vegetal da folha da graviola para diferentes concentrações e tempo de agitação

Condições do Experimento: C(%), t <sub>ag</sub> (min)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Expansão (%)
3(%); 3(min)	0,0941 <sup>a</sup> ± 0,0005	960,5 <sup>a</sup> ± 6,8040
5(%);3(min)	0,0781 <sup>b</sup> ± 0,0003	1170,9 <sup>b</sup> ± 4,1140
3(%);5(min)	0,0702 <sup>cf</sup> ± 0,0032	1336,4 <sup>cf</sup> ± 69,8918
5(%);5(min)	0,0689 <sup>df</sup> ± 0,0017	1353,9 <sup>df</sup> ± 26,1487
4(%);4(min)	0,0628 <sup>e</sup> ± 0,0002	1471,1 <sup>e</sup> ± 6,3402

C = concentração de emulsificante (%); tag = tempo de agitação (min); Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Tukey. Análises realizadas em triplicata. Fonte: (Autor, 2019).

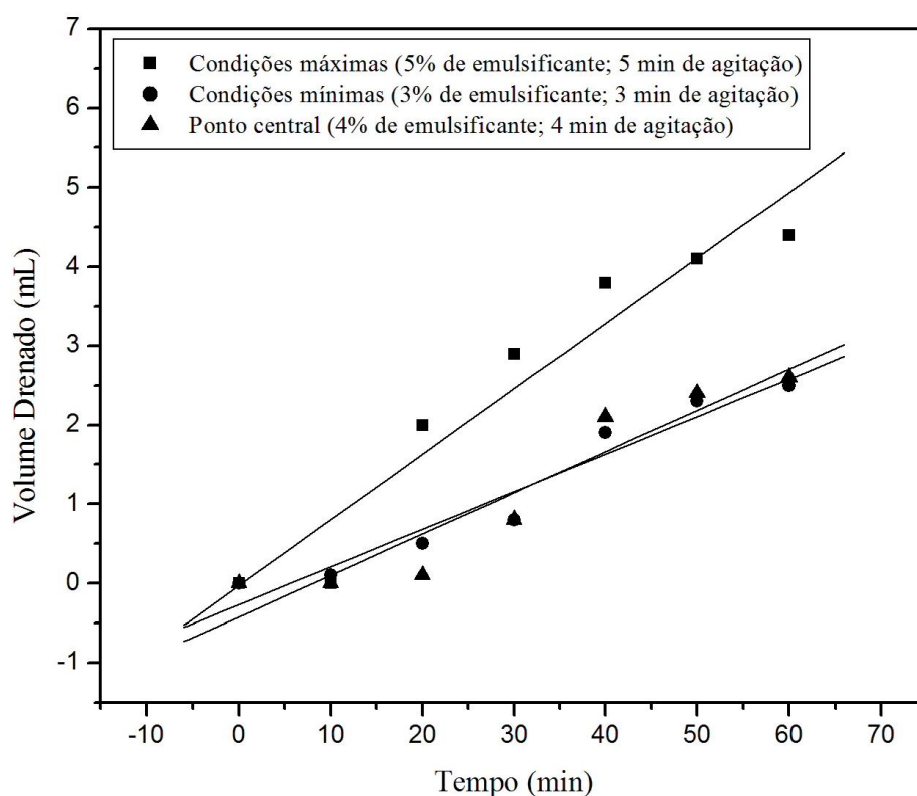
### 3.2 Estabilidade da Espuma

Geralmente, espumas que não colapsam por pelo menos uma hora são as mais indicadas para o processo de secagem (Brygidyr, Rzepecka & Mcconnell, 1977; Ratti & Kudra, 2006). As espumas que não são estáveis (que colapsam) podem gerar sérios problemas para a secagem (Karim & Wai, 1999). Ao observar a Figura 1, nota-se que nas condições mínimas o volume máximo drenado foi de 2,5 mL, em 60 min. Foi observado também que o experimento teve seu maior desprendimento de volume nos primeiros 40 minutos do processo, depois tende a estabilizar. Comportamento semelhante ao teste de estabilidade para as condições mínimas pode ser verificado para o ponto central, com valor máximo de líquido

drenado de 2,6 mL em 60 minutos de teste. Na temperatura de 70 °C foi observado um aumento de volume drenado em relação aos demais testes (50 °C e 60 °C), chegando a um volume drenado de 4,4 mL em 60 minutos de teste.

Os experimentos apresentaram uma estabilidade significativa para as concentrações utilizadas do emulsificante ao serem submetidas às temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Verificase também que após 50 minutos de secagem, os experimentos apresentaram uma tendência a estabilização no desprendimento de líquido.

É observado na Figura 1 que o ajuste linear da estabilidade da espuma para os três experimentos foram bem representados. Para o experimento 1 ( $y = -0,02857 + 0,08286x$ ), um alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,96$ ) mostrando que a estabilidade da espuma poderia ser explicada por uma função linear. Da mesma forma para o experimento 2 ( $y = -0,26786 + 0,0475x$ ,  $R^2 = 0,97$ ) e para o experimento 3 ( $y = -0,42143 + 0,05214x$ ,  $R^2 = 0,95$ ).



**Figura 1** - Estabilidade da espuma do derivado vegetal da folha de graviola (*Annona muricata* Linn) para diferentes concentrações do emulsificante e tempo de agitação. Fonte: (Autor, 2019).

### 3.3 Ajustes dos dados experimentais da secagem da folha da graviola com modelos matemáticos

A Tabela 3 mostra os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos de cinética de secagem testado, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão da estimativa (S) para a temperatura de 50,60 e 70 °C.

**Tabela 3** - Parâmetros dos modelos da cinética de secagem para a temperatura de 50, 60 e 70 °C.

MODELO	PARÂMETRO					
	T (°C)	k	n	A	$R^2$	S
Page	50	0,003545	1,327124	-	0,983804	0,044451
	60	0,004695	1,412105	-	0,979718	0,051819
	70	0,007529	1,369538	-	0,963936	0,066837
Henderson e Pabis	50	0,015459	-	1,054105	0,969003	0,061495
	60	0,024377	-	1,069911	0,960894	0,071954
	70	0,029843	-	1,061297	0,949734	0,078907
Newton	50	0,014593	-	-	0,965324	0,065042
	60	0,022597	-	-	0,955290	0,076937
	70	0,027858	-	-	0,945175	0,082408
Page Modificado	50	0,001227	1,548881	0,929546	0,987525	0,039014
	60	0,002178	1,591262	0,943193	0,982071	0,048720
	70	0,005096	1,466242	0,966214	0,964831	0,066002

Fonte: (Autor, 2019).

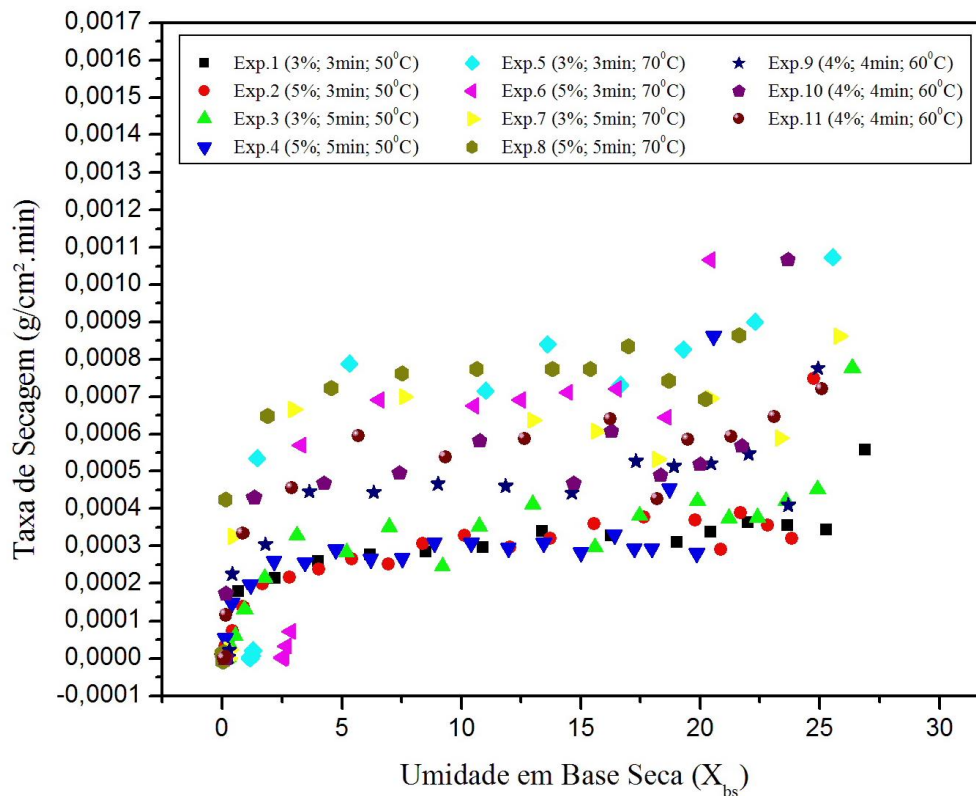
Da Tabela 3, verifica-se que todos os modelos, em todas as temperaturas, podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma da folha da graviola, já que apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e um erro padrão da estimativa (S) próximo de zero.

Dentre os modelos que apresentaram bons ajustes aos dados experimentais para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, o modelo de Page e Page Modificado foram os que melhor descreveu o processo de secagem para a folha da graviola nas condições adotadas.

Araujo et al. (2017), Moscon, Martin, Spehar, Devilla & Rodolfo Junior (2017), Castro et al. (2016) trabalhando com acerola, grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) e taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam.)), encontraram como melhor modelo ajustado para a secagem o modelo de Page. Martinazzo, Melo, Corrêa & Santos (2010) estudando a modelagem matemática e os parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus*) verificaram que o modelo de Page Modificado é o que melhor se ajusta aos dados experimentais. Segundo Sousa, Martins, Rocha, Gomes, Pessoa & Martins (2015), a determinação do modelo matemático depende da espécie de planta estudada.

Analisando os métodos que melhor se adequaram para os experimentos, Page e Page Modificado, nota-se que o parâmetro K ( $\text{min}^{-1}$ ), que é a constante de secagem, teve seu valor aumentado com o aumento da temperatura de secagem. Para Sousa e colaboradores (2011), a constante K representa o efeito das condições externas de secagem e tem seu aumento linear com a elevação da temperatura do ar de secagem. Este mesmo comportamento foi verificado por (Silva Filho, Figueiredo, Queiroz & Guimarães, 2016), ao ajustar as curvas de secagem da polpa de manga cv. Haden, pelo método camada de espuma, aos modelos de Henderson e Pabis e Logarítmico e verificado também por (Melo, Figueirêdo, Queiroz, Fernandes & Bezerra 2013), para a polpa do fruto do mandacaru. Já o parâmetro N, Page (1949) diz que seu valor varia de acordo com a umidade relativa do ar.

Na Figura 2 são apresentados os gráficos da taxa de secagem em função da umidade final em base seca ( $X_b$ s) para os experimentos de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

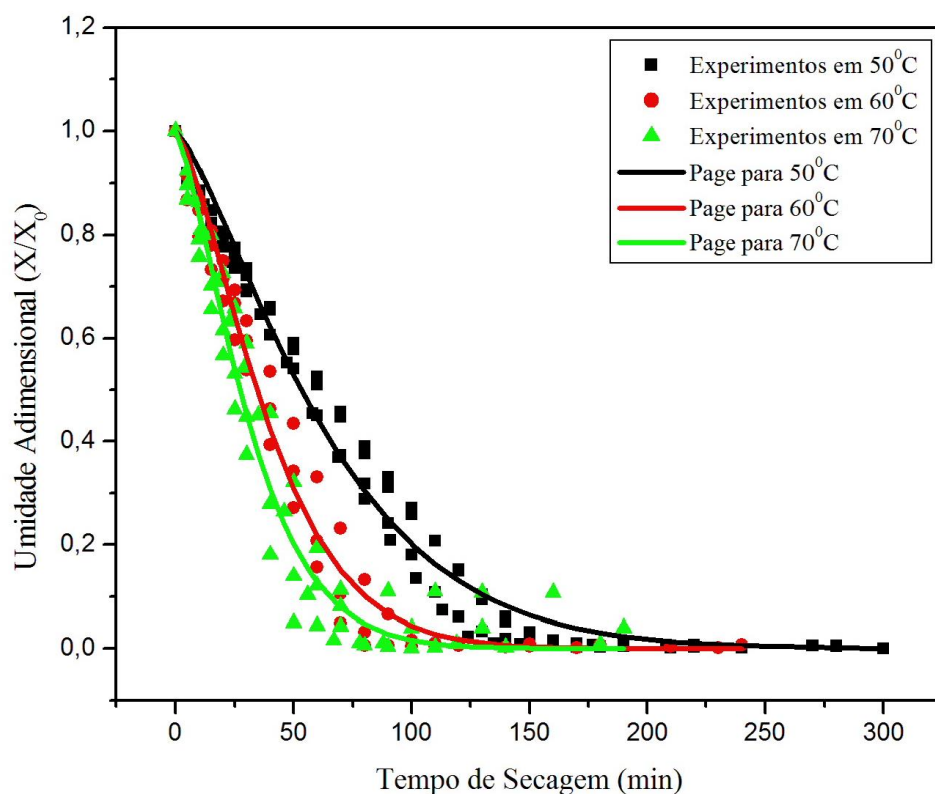


**Figura 2** - Taxa de secagem pela umidade em base seca para todos os experimentos de secagem em camada de espuma. Fonte: (Autor, 2019).

A partir da Figura 2 é possível confirmar que o aumento na temperatura provocou taxas mais elevadas na secagem da folha da graviola. Um período curto de taxa decrescente também pode ser verificado em todas as temperaturas de secagem analisadas, aproximadamente entre a faixa de 0 a 3 da umidade em base seca e um longo período de taxa constante ao decorrer do processo, aproximadamente entre a faixa de 3 e 30 ( $X_{bs}$ ).

Apesar de todos os modelos terem se ajustado aos dados experimentais, o modelo de Page foi selecionado (Figura 3) para representar a cinética de secagem da folha da graviola, por apresentar os melhores resultados.





**Figura 3** – Ajustes para o modelo de Page para os diferentes experimentos de secagem em camada de espuma da folha da graviola. Fonte: (Autor, 2019).

### 3.4 Caracterização do pó

Da Tabela 4, constatou-se que para a temperatura de 30 °C, em todos os experimentos realizados, a atividade de água dos pós do derivado vegetal da folha da graviola se manteve com valores abaixo de 0,6, reduzindo assim do seu valor inicial ( $a_w = 1$ ), Tabela 4, demonstrando que o pó obtido está em condições adequadas para conservação e armazenamento. Verifica-se também que o melhor resultado foi obtido para as condições máximas (5% de emulsificante, 5 minutos de agitação e temperatura de secagem de 70 °C) com uma atividade de 0,281.

Dos resultados obtidos, mostrados na Tabela 4, tem-se que o maior teor de umidade foi de 4,10g/100g para os experimentos 4 e 8, onde a concentração do emulsificante e tempo de agitação foram máximas (5% e 5 min). Já os menores teores de umidade foram verificados para os experimentos 1 e 5, (3,29g/100g) onde a concentração do emulsificante e tempo de agitação foram mínimas (3% e 3 min). Mei Ling & Rabiha (2018), obteve o menor teor de umidade de 6,04 (g/100) ao desidratar beterraba por camada de espuma. Rajkumar et. al

(2007) também verificou que o menor teor de umidade foi obtido para a secagem de polpa de manga no método camada de espuma.

A solubilidade é um dos parâmetros utilizado para verificar a capacidade do pó em se manter em uma mistura homogênea com água. Na Tabela 4 se observa que os melhores percentuais de solubilidade foram verificados para os experimentos 1 e 7 (46,61% e 49,07%), para os pós obtidos para a concentração mínima do emulsificante seguido do experimento 4, para a concentração máxima do emulsificante. Já o menor percentual foi obtido para o experimento 8 (41,77%), com a maior concentração do emulsificante e maior temperatura de secagem.

**Tabela 4** - Teor de umidade, atividade de água (aw) e solubilidade para as amostras do pó do derivado vegetal da folha da graviola.

Experimento	Teor de umidade (g/100g)	aw	Solubilidade (%)
1 (3%, 3 min, 50°C)	3,29 <sup>a</sup> ±0,09	0,363 <sup>abc</sup> ±0,009	46,61 <sup>abc</sup> ± 0,70
2 (5%, 3 min, 50°C)	3,58 <sup>a</sup> ±0,11	0,326 <sup>acd</sup> ±0,016	44,05 <sup>acde</sup> ± 0,80
3 (3%, 5 min, 50°C)	3,36 <sup>a</sup> ±0,09	0,403 <sup>b</sup> ±0,010	41,86 <sup>de</sup> ± 1,42
4 (5%, 5 min, 50°C)	4,10 <sup>bd</sup> ±0,13	0,406 <sup>b</sup> ±0,003	46,25 <sup>abce</sup> ± 1,45
5 (3%, 3 min, 70°C)	3,29 <sup>a</sup> ±0,09	0,539 <sup>e</sup> ±0,007	43,72 <sup>acd</sup> ± 1,54
6 (5%, 3 min, 70°C)	3,58 <sup>a</sup> ±0,11	0,361 <sup>bc</sup> ±0,001	42,76 <sup>acd</sup> ± 0,48
7 (3%, 5 min, 70°C)	3,36 <sup>a</sup> ±0,09	0,319 <sup>cd</sup> ±0,003	49,07 <sup>b</sup> ± 1,27
8 (5%, 5 min, 70°C)	4,10 <sup>cd</sup> ±0,13	0,281 <sup>d</sup> ±0,011	41,77 <sup>d</sup> ± 0,68
9 (4%, 4 min, 60°C)	3,54 <sup>a</sup> ±0,02	0,351 <sup>c</sup> ±0,001	42,37 <sup>cd</sup> ± 1,30

Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si (p<0,050) pelo teste de Tukey. Análises realizadas em triplicata. Fonte: (Autor, 2019).

**Tabela 5** - pH, Acidez Titulável Total (ATT), Sólidos Solúveis Totais, para as amostras do pó do derivado vegetal da folha da graviola.

Experimento	pH	ATT (g/100g)	°Brix
1 (3%, 3 min, 50°C)	5,38 <sup>a</sup> ± 0,00	2,21 <sup>a</sup> ± 0,14	42,33 <sup>abc</sup> ±0,94
2 (5%, 3 min, 50°C)	5,64 <sup>b</sup> ± 0,01	1,97 <sup>a</sup> ± 0,06	43,00 <sup>abc</sup> ±0,00
3 (3%, 5 min, 50°C)	5,88 <sup>cd</sup> ± 0,05	2,11 <sup>a</sup> ± 0,18	42,67 <sup>abc</sup> ±0,47
4 (5%, 5 min, 50°C)	5,75 <sup>bc</sup> ± 0,09	2,04 <sup>a</sup> ± 0,04	42,00 <sup>ac</sup> ± 1,41
5 (3%, 3 min, 70°C)	5,34 <sup>a</sup> ± 0,07	2,11 <sup>a</sup> ± 0,20	44,67 <sup>abc</sup> ±1,88

6 (5%, 3 min, 70°C)	5,85 <sup>cd</sup> ± 0,05	2,06 <sup>a</sup> ± 0,03	44,00 <sup>abc</sup> ± 1,41
7 (3%, 5 min, 70°C)	5,90 <sup>cd</sup> ± 0,01	2,34 <sup>a</sup> ± 0,04	46,67 <sup>b</sup> ± 1,88
8 (5%, 5 min, 70°C)	5,98 <sup>d</sup> ± 0,03	2,07 <sup>a</sup> ± 0,03	43,00 <sup>bc</sup> ± 0,00
9 (4%, 4 min, 60°C)	5,91 <sup>cd</sup> ± 0,01	2,30 <sup>a</sup> ± 0,09	42,00 <sup>c</sup> ± 1,41

Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0,050$ ) pelo teste de Tukey. Análises realizadas em triplicata. Fonte: (Autor, 2019).

**Tabela 6** -Caracterização do derivado vegetal da folha da graviola.

Parâmetros Analisados	Derivado vegetal da folha da graviola (Média ± Desvio Padrão)
Aw	1,016 ± 0,003
pH	6,22 ± 0,09
°Brix	2,73 ± 0,24
Acidez (% Ácido Cítrico)	0,84 ± 0,05

Aw = atividade de água; pH = potencial hidrogeniônico. Análises realizadas em triplicata. Fonte: (Autor, 2019).

De acordo com os resultados da Tabela 5, verifica-se que para todas as condições de secagem, o pó apresentou caráter levemente ácido, variando entre 5,34 e 5,98. Juntamente com o decréscimo do teor de água (aw) do alimento, o pH é bastante utilizado como indicador de deterioração de um alimento, onde baixos valores de pH leva a uma maior conservação do alimento. Analisando as condições dos experimentos, é observado que houve uma discreta tendência a elevação do pH a medida que ocorre o aumento da concentração do emulsificante ou tempo de agitação, onde os menores valores de pH, 5,38 e 5,34 se refere as condições mínimas de concentração e tempo de agitação. Comparando com o pH do derivado vegetal da folha da graviola, observa-se uma redução no pH, de 6,22 (Tabela 5) para valores de até 5,34. Confirmando assim a característica da folha da graviola, com um caráter levemente ácido. Valores de acidez titulável total (ATT) se deram entre 1,97 – 2,34 g ácido cítrico/100g. Verifica-se que não há diferenças significativas entre as diferentes condições experimentais, para o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Comparando com os resultados obtidos, nota-se que houve um aumento no teor de acidez em relação ao derivado vegetal da folha da graviola (0,84%) Tabela 6, provavelmente, com a redução do teor de água, houve uma concentração dos componentes e assim um aumento na acidez titulável total. Tal fato também foi verificado por

Rigueto, Evaristo, Geraldi & Covre (2018), na secagem de uvaia (*Eugenia pyriformis*) pelo método de secagem em camada de espuma.

Da Tabela 5, verificam-se altos teores de sólidos solúveis com pouca variação entre os valores médios obtidos, entre 42 °Brix e 47 °Brix, para todos os experimentos realizados. O maior teor de STT foi obtido para a temperatura de 70 °C, no valor de 46,67 °C. Verifica-se também um aumento no teor de sólidos solúveis quando comparados com os valores obtidos para o derivado vegetal da folha da graviola (2,37 °Brix), Tabela 6. Altos valores também foi verificado por Soares et al. (2001) ao desidratarem a polpa da acerola, obtendo valores de 62,3 °Brix valor este quase 10 vezes maior que a polpa *in natura*. O alto teor de sólidos solúveis encontrado pode ser explicado pela eliminação da parte da água presente no produto, gerando uma concentração de seus nutrientes.

### 3.5 Atividade antioxidante pelo método dpph e determinação de fenólicos totais

Os antioxidantes auxiliam na desaceleração da oxidação e conseqüentemente na prevenção de doenças. Pode ser observado na Tabela 7 que os pós dos três experimentos analisados apresentaram ação antioxidante. Dentre os resultados, verifica-se que o experimento 1 nas condições mínima (3%, 3 min, 50 °C), apresentou o maior teor para a atividade antioxidante 121,07 µmolTx/g quando comparada às outras condições; e ainda pode ser observado que o aumento na temperatura interferiu na capacidade antioxidante do pó de forma negativa.

Para o teor encontrado de compostos fenólicos, também se verificou um decréscimo em seu valor à medida que a temperatura de secagem foi aumentada. Para a temperatura de secagem de 50 °C foi encontrado o valor de 1420 mg GAE/100g de pó, para 60 °C, nas condições do fatorial médio do planejamento experimental, foi encontrado 1216 mg GAE/100g de pó e para a temperatura mais elevada, 70°C, foi encontrado 991 mg GAE/100g de pó.

**Tabela 7 -:** Valores médios da atividade antioxidante total (DPPH) e fenólicos totais para as amostras do pó do derivado vegetal da folha da graviola.

Experimento	Atividade antioxidante pelo método DPPH (µmol Tx/g)	Fenólicos totais (mg GAE/100g de pó)
-------------	---	--------------------------------------

1 (3%, 3 min, 50°C)	121,07 <sup>a</sup> ± 0,83	1420 <sup>a</sup> ± 0,04
9 (4%, 4 min, 60°C)	90,00 <sup>b</sup> ± 0,40	1216 <sup>b</sup> ± 0,06
8 (5%, 5 min, 70°C)	91,73 <sup>c</sup> ± 0,61	991 <sup>c</sup> ± 0,10

Médias seguidas de mesma letra na linha vertical não diferem estatisticamente entre si ( $P < 0,050$ ) pelo teste de Tukey. Análises realizadas em triplicata. Fonte: (Autor, 2019).

#### 4. Conclusões

O processo de secagem da folha da graviola mostrou que o pó pode ser produzido pelo método alternativo em camada de espuma. As características físicas de densidade e percentual de expansão das espumas do derivado vegetal da folha da graviola apresentaram dependência significativa, para o nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ), para a concentração do emulsificante, para o tempo de agitação ( $T_{ag}$ ) como também para a interação entre as duas variáveis. Para a estabilidade da espuma, teve como melhor resultado as condições mínimas do experimento (3%, 3 min, 50 °C), com valor máximo drenado de 2,5 mL em 60 minutos. Maior teor de umidade foi de 4,10g/100g para os experimentos onde a concentração do emulsificante e tempo de agitação foi máxima (5% e 5 min). Já os menores teores de umidade (3,29g/100g) foram verificados para os experimentos, onde a concentração do emulsificante e tempo de agitação foi mínima (3% e 3 min). Para os modelos matemáticos não lineares, os que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram os modelos de Page e Page Modificado. Na caracterização do pó produzido foi verificado que a atividade de água ( $a_w$ ) foi mantida abaixo de 0,6, mostrando dificuldade ao crescimento microbiano. Um caráter levemente ácido, variando o pH entre 5,34 e 5,98, mantendo a característica ácida da folha *in natura*. Altos teores de sólidos solúveis totais (°Brix), entre 42 e 47. Aumento nos teores de acidez titulável total, entre 1,97 e 2,34, de modo que o processamento favoreceu a concentração das substâncias responsáveis por tais propriedades. Para o índice de solubilidade em água a amostra do pó que apresentou o maior percentual foi para as condições de (3%, 5 min, 70 °C), com um valor de 49,07%. Na análise da atividade antioxidante total e fenólicos totais, as amostras apresentaram ação antioxidante para o método DPPH, com o maior valor de 121,07  $\mu\text{molTx/g}$  e um teor de fenólicos de 1420 mg GAE/100g de pó para as condições do fatorial mínimo (3%, 3 min, 50 °C).

#### Referências

Afonso Júnior, P. C.; Corrêa, P. C. (1999). Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3), 349 – 353. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p349-353>

Akpınar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.007>

Alfaia, D. P. S., & Almeida, S. S. M. S. (2016). Avaliação fitoquímica, análise citotóxica e antimicrobiana do extrato bruto etanólico das folhas de *Annona muricata* L. (Annonaceae). *Biota Amazônia*, 6(1), 26-30. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p26-30>

Araujo, C. S., Macedo, L. L., Vimercati, W. C., Saraiva, S. H., Oliveira, A. N., & Teixeira, L. J. Q. (2017) Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. *Braz. J. Food Technol.*, 20. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.15216>

Azizpour, M., Mohebbi, M., Khodaparast, M. H. H., & Varidi, M. (2013). Foam-mat drying of shrimp: characterization and drying kinetics of foam. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(3), 159-165.

Balasubramanian, S., Paridhi, G., Bosco, J. D., & Kadam, D. M. (2012). Optimization of Process Conditions for the Development of Tomato Foam by Box-Behnken Design. *Food and Nutrition Sciences*, 3, 925-930. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2012.37122>

Baskar, R., Rajeswari, V., & Kumar, T. S. (2007). In vitro antioxidant studies in leaves of annona species. *Indian J Exp Biol.*, 45, 480-485.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 28, 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Brasil. (2004). Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Órgão emissor: ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária.

Brock, J., Nogueira, M. R., Zakrzewski, C., Corazza, F. C., Corazza, M. L., & Oliveira, J. V. (2008). Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 564-570. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>

Brygidyr, A. M., Rzepecka, M. A., & Mc Connell, M. B. (1977). Characterization and Drying of Tomato Paste Foam by Hot Air and Microwave Energy. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 10(4), 313–319. [https://doi.org/10.1016/S0315-5463\(77\)73553-9](https://doi.org/10.1016/S0315-5463(77)73553-9)

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420-428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>

Castro, D. S.; Silva, L. M. M.; Moreira, I. S.; Sousa, F. C.; Silva, W.P. & Almeida, F. A. C. (2016). Análise e descrição matemática da secagem de polpa de taturubá (*Pouteriamacrophylla* (Lam.) eyma.) em camada fina. *ENGEVISTA*, 18(2), 309-317.

Coria-Telles, A. V., Montalvo-Gonzales, E., Yahia, E. M., & Obledo-Vazquez, E. N. (2016). *Annona muricata*: A comprehensive review on its traditional medicinal uses, phytochemicals, pharmacological activities, mechanisms of action and toxicity. *Arabian Journal of Chemistry*, 11(5), 662-691. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.01.004>

Eastman, J. E., & Moore, C. O. (1984). Cold water soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702.

Feitosa, R. M., Figueirêdo, R. M. F., Queiroz, A. J. M., Lima, F. C. S., & Oliveira, E. N. A. (2017). Drying and characterization of myrtle pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(12), 858-864. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p858-864>

Freitas, E. C., Moraes, M. O. B., & Silva, A. C. (2017). Metabólitos secundários presentes na *Annona muricata* L. e suas propriedades nutricionais e funcionais em oncologia. *Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*, 11(61), 19–22.

Furtado, G. F., Silva, F. S., Porto, A. G., & Santos, P. (2010). Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 12(1), 9 - 14. <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v12n1p9-14>

Heinrich, M., Kuhnta, M. Wrightb, C. W., Rimpler, H., Phillipsonb, J. D., Schandelmaier, A., & Warhurst, D. C. (1992). Parasitologica and microbiological evaluation of Mixe Indian medicinal plants (Mexico). *Journal of Ethnopharmacology*, 36, 81-85. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(92\)90063-W](https://doi.org/10.1016/0378-8741(92)90063-W)

Instituto Adolfo Lutz. (2008). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. (1a ed.). São Paulo.

Karim, A. A., & Wai, C. C. (1999). Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. *Food Chemistry*., 64(3), 337-343. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00119-8)

Lans, C. A. (2006). Ethnomedicines used in Trinidad and Tobago for urinary problems and diabetes mellitus. *J. Ethnobiol Ethnomedicine*, 2, 45-55. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-2-45>

Martinazzo A.P.; Melo E.C.; Corrêa P.C.; Santos R.H.S. (2010). Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf]. *Rev. Bras. Pl. Med.*, 12(4), 488-498. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722010000400013>

Mei Ling N., & Rabiha S. (2018). Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *Food Science and Technology*, 88, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>



Melo, K. S.; Figueirêdo, R. M. F.; Queiroz, A. J. M.; Fernandes, T. K. S.; Bezerra, M. C. T. (2013). Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. *Revista Caatinga*, 26(2), 10-17.

Moscon, E. S.; Martin, S.; Spehar, C. R.; Devilla, I. A. & Rodolfo Junior, F. (2017). Cinética de secagem de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa w.*). *Revista Engenharia na Agricultura*, 25(4), 318-328. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i4.773>

Page, C. (1949). Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in thin Layers. Dissertação de Mestrado, Purdue University. West Lafayette.

Rajkumar, P., Kailappan, R., Vishwanathan, R., Parvathi, K., Raghavan, G., & Orsat, V. (2007). Thin layer drying study on foamed mango pulp. *Agricultural Engineering International: The CIGR E Journal Manuscript*, 9.

Ratti, C., & Kudra, T. (2006). Drying of foamed biological materials: oportunities and challenges. *Drying Technology*, 24, 1101-1108. <https://doi.org/10.1080/07373930600778213>

Rigueto, C. V. T., Evaristo, L. M., Geraldi, C. A. Q., & Covre, L. (2018). Influência da temperatura de secagem de uvaia (*Eugenia pyriformis*) em camada de espuma. *Engevista*, 20(4), 537-547. <https://doi.org/10.22409/engevista.v20i4.9540>

Roslida, A. H., Tay, C. E., Zuraini, A., & Chan, P. F. (2010). Anti-inflammatory and anti-nociceptive activities of the ethanolic extract of *Annona muricata* leaf. *Journal of Natural Remedies*, 10(2), 97-104.

Sauter, E. A.; Montoure, J. E. (1972). The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. *Journal of Food Science*, 37(6), 918-920. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03703.x>

Silva Filho, E. D., Figueiredo, R. M. F., Queiroz, A. J. M., & Guimarães, M. K. A. (2016). Cinética de secagem em camada de espuma da polpa da manga cv. Haden. *Comunicata Scientiae*, 7(3), 354-361. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i3.1467>

Silva, S. E. L., & Garcia, T. B. (1999). A cultura da gravioleira (*Annona muricata* L.). Série: Embrapa Amazônia Ocidental. (Doc. 4). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. ISSN: 1517-3135.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

Soares, E. C., Oliveira, G. S. F., Maia, G. A., Monteiro, J. C. S., Silva Jr, A., & Filho, M. S. S. (2001). Desidratação da polpa de acerola (*malpighia emarginata* d.c.) pelo processo “foam-mat” *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, 21(2),164–170. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000200008>

Soares, M., Welter, L., Gonzada, L., Lima, A., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2008). Avaliação da atividade antioxidante e identificação dos ácidos fenólicos presentes no bagaço de maçã cv. Gala. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 28(3), 727-732. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300032>

Sousa, F. C.; Martins, J. J. A.; Rocha, A. P. T.; Gomes, J. P.; Pessoa, T.; Martins, J. N. (2015). Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. *Rev. Bras. Pl. Med.*, 17(2), 195-200. [http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/12\\_071](http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/12_071)

Sousa, K. A.; Resende, O.; Chaves, T. H.; Costa, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). (2011). *Revista Ciência Agronômica*, 42(4), 883 – 892. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400009>

Sousa, O. V., Vieira, G. D., Jesus, R. G. P. J., Yamamoto, C. H., & Alves, M. S. (2010). Antinociceptive and anti-inflammatory activities of the ethanol extract of *Annona muricata* L. Leaves in animal models. *Int. J. Mol. Sci.*, 11(5), 2067-2078. <https://doi.org/10.3390/ijms11052067>

Taylor, L. (2005). Technical Data Report for Graviola: *Annona muricata*. (2nd ed.) Sage Press, Inc., Herbal Secrets of the Rainforest.

Vijayameena, C., Subhashini, G., Loganayagi, M., & Ramesh, B. (2013). Phytochemical screening and assessment of antibacterial activity for the bioactive compounds in *Annona muricata*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(1), 1-8.

Yang, C., Gundala, S. R., Mukkavilli, R., Vangala, S., Reid, M., & Aneja, R. (2015). Synergistic interactions among flavonoids and acetogenins in *Graviola* (*Annona muricata*) leaves confer protection against prostate cancer. *Carcinogenesis*, 36(6), 656-665. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgv046>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Bárbara Freire de Oliveira – 16,75%

Jéssica Kelly da Silva Negreiros – 16,65%

Karina Soares do Bonfim – 16,65%

Josilene de Assis Cavalcante – 16,65%

Márcia Ferraz Pinto – 16,65%

Nagel Alves Costa – 16,65%