

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

MARIA RAYANNE LIMA DE MORAES

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM MAT DRYING*) DAS
FOLHAS DO MASTRUZ (*Chenopodium ambrosioides* L.)**

**JOÃO PESSOA
2021**

MARIA RAYANNE LIMA DE MORAES

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM MAT DRYING*) DAS
FOLHAS DO MASTRUZ (*Chenopodium ambrosioides* L.)**

**JOÃO PESSOA
2021**

MARIA RAYANNE LIMA DE MORAES

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM MAT DRYING*) DAS FOLHAS DO
MASTRUZ (*Chenopodium ambrosioides* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito exigido para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante

Coorientador: Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M827s Moraes, Maria Rayanne Lima de.

Secagem em camada de espuma (foam mat drying) das
folhas do mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) / Maria
Rayanne Lima de Moraes. - João Pessoa, 2021.

85 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.

Coorientação: Flávio Luiz Honorato da Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Planta medicinal. 2. Pó. 3. Atividade de água. 4.
Page. I. Cavalcante, Josilene de Assis. II. Silva,
Flávio Luiz Honorato da. III. Título.

UFPB/BC

CDU 633.88(043)

MARIA RAYANNE LIMA DE MORAES

**SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM MAT DRYING*) DAS FOLHAS DO
MASTRUZ (*Chenopodium ambrosioides* L.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba como requisito exigido para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: 30/09/2021

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Josilene de Assis Cavalcante – PPGEQ/CT/UFPB
(Orientadora)



Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva – PPGEQ/CT/UFPB
(Coorientador)



Profa. Mércia Melo de Almeida Mota – UAEA/CTRN/UFCG
(Examinador Externo)



Prof. José Etimógenes Duarte Vieira Segundo – UATA/CCTA/UFCG
(Examinador Externo)

AGRADECIMENTOS

À minha tia/mãe/amiga Alexsandra que me deu todo o incentivo e suporte para que esse trabalho fosse realizado.

À minha família por todo o amor.

Aos meus amigos.

Aos meus orientadores Josilene e Flávio e também a professora Andrea.

À banca avaliadora.

A FAPESQ pela concessão da bolsa de mestrado e a PRPG UFPB pelo financiamento dos custos de matéria-prima do projeto.

Ao Laboratório de Termodinâmica e todos os técnicos que me auxiliaram.

nanos gigantum humeris insidentes

RESUMO

O *Chenopodium ambrosioides* L. reconhecido popularmente no Brasil por mastruz ou erva-de-Santa-Maria é uma planta medicinal cujas investigações científicas em todo o mundo, atribuí-lhe diversas atividades farmacológicas, destacando as folhas pelo seu uso tradicional na forma de chás. Todavia, a vida útil das folhas padece rapidamente após a colheita e uma das alternativas de conservação é dada pela produção de pó pelo método de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*), alternativa simples e de baixo custo. Desta forma, este trabalho teve por objetivo examinar o processo de secagem das folhas do mastruz pelo método de secagem em camada de espuma, utilizando o Portogel® como agente espumante. Utilizou-se a metodologia de planejamento experimental fatorial completo de $2^3 + 3$ pontos centrais, buscando verificar as influências das variáveis independentes: concentração de emulsificante (3, 5 e 7%), tempo de agitação (3, 5 e 7 min) e temperatura do ar de secagem (50, 60 e 70 °C) sobre a variável dependente: tempo de secagem. Foram realizadas as caracterizações físicas da espuma da folha do mastruz: densidade, percentual de expansão, capacidade de incorporação de ar, estabilidade da espuma, pH, acidez titulável e umidade. Com os dados da cinética de secagem foi possível implantar os ajustes aos modelos matemáticos não lineares e com os pós obtidos foi realizada a análise de atividade de água. Para o tratamento estatístico foi verificado que somente a temperatura apresentou influência significativa sobre o tempo de secagem para um nível de 95% de confiança. As curvas de secagem apresentam longo período de taxa constante e curto período de taxa decrescente. O modelo matemático que apresentou melhor ajuste foi o de Page, que alcançou maiores coeficiente de correlação e menores somas quadráticas residuais em todas as temperaturas estudadas ($R^2 \geq 0,9546$, $SQ \leq 0,2149$). O processo de secagem do *Chenopodium ambrosioides* L. pelo método de secagem em camada de espuma mostrou-se viável, sendo a condição de temperatura de 70 °C, concentração de emulsificante de 3% e tempo de agitação de 7 min a que apresentou menor tempo de secagem (110 min) e atividade de água inferior a 0,6. Vale ressaltar que há na literatura uma carência de estudos que mostrem diversos parâmetros de secagem do mastruz em diversas configurações de processo.

Palavras-chave: Planta medicinal; Pó; Atividade de água; Page.

ABSTRACT

Chenopodium ambrosioides L. popularly known in Brazil as mastruz or Santa Maria is a medicinal plant whose scientific investigations around the world attribute several pharmacological activities to it, highlighting the leaves for their traditional use in the form of teas. However, the shelf life of the leaves quickly deteriorates after harvest and one of the conservation alternatives is the production of powder by the foam mat drying method, a simple and low cost alternative. Thus, this work aimed to examine the drying process of mastiff leaves by the foam mat drying method, using Portogel® as a foaming agent. The methodology of complete factorial experimental planning of $2^3 + 3$ central points was used, seeking to verify the influences of the independent variables: emulsifier concentration (3, 5 and 7%), agitation time (3, 5 and 7 min) and drying air temperature (50, 60 and 70 °C) on the dependent variable: drying time. The physical characterizations of the epazote leaf foam were performed: density, percentage of expansion, air incorporation capacity, foam stability, pH, titratable acidity and humidity. With the data from the drying kinetics it was possible to implement the adjustments to the non-linear mathematical models and with the powders obtained the water activity analysis was performed. For the statistical treatment it was verified that only the temperature presented significant influence on the drying time for a 95% confidence level. The drying curves presented a long period of constant rate and a short period of decreasing rate. The mathematical model that presented the best fit was Page's, which achieved higher correlation coefficients and lower residual quadratic sums at all temperatures studied ($R^2 \geq 0.9546$, $SQ \leq 0.2149$). The drying process of *Chenopodium ambrosioides* L. by the foam layer drying method proved to be feasible, being the condition of temperature of 70 °C, emulsifier concentration of 3% and stirring time of 7 min the one that presented the shortest drying time (110 min) and water activity below 0.6. In the literature there is a lack of studies showing various drying parameters for mastiff in various process configurations.

Key words: Herbal medicines; Powder; Water activity; Page.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mastruz ou erva-de-Santa-Maria (<i>Chenopodium ambrosioides L.</i>)	19
Figura 2	Curvas de Secagem: A) Cinética de secagem e B) Taxa de secagem	24
Figura 3	Valores de Densidade	41
Figura 4	Valores de Expansão das Espumas (%)	43
Figura 5	Valores da Capacidade de Incorporação de Ar	44
Figura 6	Estabilidade da espuma do mastruz a 50 °C	46
Figura 7	Estabilidade da espuma do mastruz a 60 °C	47
Figura 8	Estabilidade da espuma do mastruz a 70 °C	48
Figura 9	pH das espumas	49
Figura 10	Valores de Acidez Total Titulável das espumas	50
Figura 11	Umidade (base seca e base úmida) das espumas	51
Figura 12	Diagrama de Pareto para Tempo de Secagem	52
Figura 13	Superfície de Resposta para o Tempo de Secagem	54
Figura 14	Curvas de Secagem para Temperatura de 50 °C	55
Figura 15	Curvas de Secagem para Temperatura de 60 °C	55
Figura 16	Curvas de Secagem para Temperatura de 70 °C	56
Figura 17	Taxa de Secagem pela Umidade em Base Seca para os experimentos com temperatura de 50 °C	57
Figura 18	Taxa de Secagem pela Umidade em Base Seca para os experimentos com temperatura de 60 °C	57
Figura 19	Taxa de Secagem pela Umidade em Base Seca para os experimentos com temperatura de 70 °C	58
Figura 20	Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 01 e 02: C = 3% e C = 7%, respectivamente	59
Figura 21	Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 07 e 08: C = 3% e C = 7%, respectivamente	59
Figura 22	Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 01 e 03: T _{ag} = 3 min e T _{ag} = 7 min, respectivamente	60
Figura 23	Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 05 e 07: T _{ag} = 3 min e T _{ag} = 7 min, respectivamente	60
Figura 24	Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 01 e 05: T = 50 °C e T = 70 °C, respectivamente	61
Figura 25	Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 02 e 06: T = 50 °C e T = 70 °C, respectivamente	62
Figura 26	Ajuste Modelo de Page Modificado, Page, Henderson e Pabis e Newton, respectivamente: 50 °C	64
Figura 27	Ajuste Modelo de Page Modificado, Page, Henderson e Pabis e Newton, respectivamente: 60 °C	65
Figura 28	Ajuste Modelo de Henderson e Pabis, Page e Newton, respectivamente: 70 °C	66
Figura 29	Comportamento do parâmetro <i>k</i> nas temperaturas dos experimentos	67
Figura 30	Atividade de Água do pó das folhas do mastruz em ordem crescente	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores codificados e reais das variáveis independentes	34
Tabela 2	Matriz do planejamento experimental fatorial 2^3+3 pontos centrais	34
Tabela 3	Valores da variável dependente na secagem em camada de espuma do suco das folhas do mastruz	52
Tabela 4	Parâmetros dos diferentes modelos matemáticos	62
Tabela 5	Equações ajustadas dos modelos matemáticos	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Nomes e usos populares da <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. conforme países e regiões	20
Quadro 2	Relação de matérias-primas utilizadas na secagem em camada de espuma	29
Quadro 3	Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 PLANTAS MEDICINAIS	16
2.2 MASTRUZ (<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.)	18
2.3 FUNDAMENTOS DE SECAGEM.....	21
2.3.1 Secagem em camada de espuma (<i>foam mat drying</i>)	25
2.3.2 Ajuste Matemático	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1 MATÉRIA-PRIMA	32
3.2 METOLOGIA.....	32
3.2.1 Preparação da espuma	32
3.2.2 Planejamento experimental fatorial completo.....	33
3.2.3 Características físico-químicas da espuma.....	34
Densidade	34
Capacidade de expansão.....	34
Capacidade de incorporação do ar (<i>over run</i>)	35
Estabilidade	35
Teor de umidade.....	36
pH.....	36
Acidez total titulável (ATT).....	37
3.3 ENSAIOS DE SECAGEM	37
3.3.1 Ajuste Matemático	38
3.4 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE DE ÁGUA (AW)	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICA E QUÍMICA DA ESPUMA	40
4.1.1 Densidade	40
4.1.2 Percentual de expansão	41
4.1.3 Capacidade de incorporação de ar (<i>over run</i>).....	43
4.1.4 Estabilidade	45
4.1.5 pH.....	47
4.1.6 Acidez Total Titulável – ATT (%).....	48
4.1.7 Umidade	49
4.2 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA	50
4.2.1 Tempo de secagem	50
4.2.2 Cinética de secagem	53
4.2.3 Ajustes dos dados experimentais com modelos matemáticos.....	61
4.2.4 Atividade de água (A_w)	66
5. CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A – Estimativa dos efeitos das variáveis para o tempo de secagem das folhas do mastruz.....	85
APÊNDICE B – Dados da ANOVA realizada para a variável tempo de secagem.	85

1 INTRODUÇÃO

As plantas são a principal fonte para cerca de um quarto dos medicamentos prescritos globalmente, pois os produtos naturais desempenham um papel fundamental na produção de moléculas bioativas e agentes farmacêuticos (NORONHA *et al.*, 2020).

No Brasil, o Ministério da Saúde divulgou a Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema Único de Saúde (RENISUS), um documento com 71 espécies vegetais de grande interesse à comunidade científica às plantas que têm grande potencial fitoterápico no país (BRASIL, 2009).

Uma das espécies encontradas na RENISUS é a *Chenopodium ambrosioides* L., conhecida popularmente no Brasil como mastruz, erva-de-Santa-Maria, erva-de-bicho, mastruço, menstrução, ambrosina, mentruz, erva-do-formigueiro, chá do México, lombrigueira, erva-mata-pulga, quenopódio, tendo o seu uso largamente difundido pelo país (MAIA, 2019; MARMITT *et al.*, 2015). Malária, infecções pulmonares, pneumonia e cólera são algumas das enfermidades tratadas por esta planta (FIGUEIREDO, ROCHA e FREITAS, 2019).

Por estar no RENISUS e ser uma planta importante para estudos, o mastruz é candidato para o desenvolvimento de novos produtos. Portanto, é imprescindível analisar as ferramentas necessárias para tal finalidade e um dos desafios nessa questão é a vida útil dos materiais orgânicos após a colheita. Uma das alternativas justificadas para tal empecilho é a produção de pós, que atualmente já é um método utilizado pelas indústrias farmacêuticas, alimentícias e agroquímicas, por exemplo (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Segundo Martinazzo (2006), dentre os processos pós-colheita, a secagem e o armazenamento são fundamentais para a obtenção de um produto de qualidade. Um fator a ser investigado é a secagem da planta, buscando assim, a facilitação de armazenamento e transporte.

Todavia, diversas alterações inconvenientes surgem nas substâncias afetadas pelo calor, como a variação sensorial, na cor e na textura, perdas de antioxidantes e a destruição de vitaminas. Embora alguns estudos correlatarem o processamento industrial e seus efeitos na qualidade nutricional, a consciência desse assunto, ainda, é disperso e deficiente, sendo que algumas alterações, em alguns produtos, são desejáveis (FERREIRA, 2017).

Uma das técnicas de secagem que permite a preservação de propriedades importantes devido as baixas temperaturas em comparação com os demais métodos, é a secagem em camada de espuma. Nessa modalidade de secagem, o material líquido ou semilíquido é convertido em

uma espuma consistente utilizando o processo de batadura e incorporação de ar ou outro gás, para finalmente ser levado para secar numa fina camada sobre uma superfície (NOBRE *et al.*, 2019). A maior área superficial, que é uma das características da desidratação via *foam mat drying*, facilita a troca de calor entre a água e a amostra, e conseqüentemente, há uma redução no tempo de secagem (KARIM e WAI, 1999; PEREIRA, 2015).

Vale ressaltar que há na literatura uma carência de estudos que mostrem diversos parâmetros de secagem do mastruz em diversas condições e de suas respectivas curvas cinéticas de secagem.

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivos:

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação dos parâmetros cinéticos da secagem em camada de espuma das folhas do mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) em diferentes condições de temperatura do ar de secagem.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a espuma obtida da folha do mastruz nos seguintes parâmetros: percentual de densidade, percentual de expansão da espuma, capacidade de incorporação de ar (*over run*), estabilidade da espuma, pH, acidez total titulável e umidade;
- Avaliar a influência das variáveis: concentração de emulsificante, temperatura de secagem e tempo de agitação, no tempo de secagem, que é a variável resposta;
- Realizar o ajuste matemático da cinética de secagem em camada de espuma do mastruz em diferentes temperaturas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PLANTAS MEDICINAIS

Aproximadamente 80% da população mundial, segundo a OMS, depende frequentemente das drogas tradicionais, principalmente plantas, servindo como a principal fonte de cuidados de saúde. Esse número inclui não apenas uma grande população da China, da Índia e de todos os países em desenvolvimento do mundo, mas também países avançados (JAMSHIDI-KIA, LORIGOOINI e AMINI-KHOEI, 2018; GANESAN, 2008). De acordo com a Organização, entre 65% e 80% da população de países em desenvolvimento usam plantas medicinais como remédios, porque existem complicações no acesso aos centros de atendimentos hospitalares, aos exames e aos medicamentos clássicos (MAQBOOL *et al.*, 2019; PALHARES *et al.*, 2015; SÁ, 2013; GOSSEL-WILLIAMS, SIMON e WEST, 2006).

Estima-se que aproximadamente 25% dos medicamentos modernos e até 60% dos medicamentos antitumorais são derivados de produtos naturais. O desenvolvimento de novos produtos de origem natural também é incentivado, pois calcula-se que de mais de 300.000 espécies de plantas existentes no mundo, apenas 15% foram avaliadas para determinar seu potencial farmacológico (HEWIS *et al.*, 2020; PALHARES *et al.*, 2015; RAMZAN, 2015).

Além disso, nas últimas décadas, houve uma mudança significativa no padrão das culturas ocidentais, facilitando que as mercadorias de origem vegetal recuperassem uma posição dominante, com um número crescente de adeptos nas comunidades de países emergentes e até mesmo mais desenvolvidos e apesar dos progressos em medicamentos sintéticos, recentemente houve uma moda naturalista na qual o uso de ervas medicinais aumentou acentuadamente (SÁ, 2013; MONTANARI e BOLZANI, 2001; CALIXTO, 2000). A acessibilidade e a longa história do uso de plantas medicinais também ajudam populações vulneráveis a usá-las. Além das simples formulações domésticas, as plantas também compensam a escassez de medicamentos na área da saúde (SÁ, 2013; SANTOS *et al.*, 2011; VEIGA JUNIOR, PINTO e MACIEL, 2005).

O fato de que informações comuns sobre medicamentos vegetais podem ser verificadas e validadas clinicamente também despertou interesse acadêmico no assunto. As plantas têm sido utilizadas na indústria farmacêutica nos últimos anos para pesquisa e fabricação de novos medicamentos. A maioria das classes de drogas hoje é ou foi produzida como resultado de pesquisas baseadas na cultura popular tornando o solo brasileiro uma área

de pesquisa científica significativa e de grande porte (BRASIL, 2006c; LIMA, LIMA e FALCÃO, 2018).

Dada a biodiversidade no Brasil, o Ministério da Saúde (MS) investiu na aplicação da fitoterapia no Sistema Único de Saúde (SUS). Portanto, a produção do mercado de plantas medicinais e fitoterápicos é uma estratégia significativa para enfrentar as disparidades geográficas de nosso país. De modo a melhorar a assistência médica e a inclusão social, ampliar os tratamentos disponíveis para os usuários do SUS e proporcionar acesso a produtos, fitoterápicos e recursos conectados a plantas é uma abordagem significativa (BRASIL, 2006a).

Cinco áreas no Brasil são conhecidas por terem uma alta diversidade biológica: Floresta Amazônica, Mata Atlântica, Pantanal Matogrossense, Cerrado e Caatinga. Algumas dessas regiões incluem plantas medicinais que ainda não foram estudadas quimicamente, farmacologicamente ou toxicologicamente (JESUS *et al.*, 2018; ALMEIDA, 2011; STASI e HIRUMA-LIMA, 2003).

A flora e a biodiversidade brasileiras, compostas por um número incrivelmente abundante de espécies vegetais, foram se perdendo gradativamente, resultando na perda de informações sobre as plantas medicinais tropicais (ALMEIDA, 2011). O aumento dos custos dos medicamentos sintéticos também tem um impacto direto sobre a preferência por produtos naturais. Mesmo diante disso, o Brasil resolveu adotar algumas medidas para a propulsão e conhecimentos dessa área. Muitos desses sistemas regulatórios contêm disposições que enfatizam o valor da sabedoria tradicional e das tradições culturais na cura e preservação do bem-estar. Os atuais mecanismos regulatórios brasileiros de apoio e promoção do uso saudável e justo de plantas medicinais e fitoterápicos estão em vigor desde 2006.

Nos últimos anos vários marcos regulatórios têm apoiado e fomentado o uso seguro e racional de plantas medicinais e medicamentos fitoterápicos, onde destaca-se a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (BRASIL, 2006a), o Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (BRASIL, 2008), a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) no SUS (BRASIL, 2006b) que já se encontra na sua segunda edição (BRASIL, 2016). Também há a publicação sobre boas práticas de manipulação de preparação magistrais e oficiais para uso humano em farmácias, incluindo medicamentos fitoterápicos manipulados (BRASIL, 2007).

No Brasil, o mastruz apresenta monografia descrita na Farmacopeia, e em 2009 a espécie, junto com outras 70 plantas, recebeu maior destaque por integrar a Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema Único de Saúde (RENISUS), acentuando a necessidade de estudos e pesquisas que possam subsidiar a elaboração de novos produtos

fitoterápicos disponíveis para o uso da população, com segurança e eficácia para o tratamento de determinadas doenças, usos culinários e cosméticos (ASSUNÇÃO, 2016; BRASIL, 2009).

2.2 MASTRUZ (*Chenopodium ambrosioides* L.)

O mastruz é uma planta herbácea de pequeno porte. É uma espécie anual ou perene com folhas planas, alternadas e ramificadas medindo 2-12 cm de comprimento e 2,5-9 cm de largura. As flores são pequenas, verdes e alongadas. Os caules são ramificados, lisos, e de cor avermelhada, como exemplificado na Figura 1. A planta cresce bem em climas tropicais e subtropicais e prospera bem em solos drenados e também com suprimento moderado de água, tolerando solos salinos. A estação da floração dura de julho a agosto, e a estação da frutificação é em setembro (HEWIS *et al.*, 2020).

A *Chenopodium ambrosioides* L. pertence à família *Amaranthaceae*, que contém aproximadamente 2.360 espécies. Só no Brasil existem cerca de 150 delas, sendo que o gênero *Chenopodium* contém uma média de 100 espécies (FALCÃO e MORAES, 2020; SÁ, SOARES e RANDAU, 2015; FANK-DE-CARVALHO, MARCHIORETTO e BÁO, 2010). Apresenta como sinônimas: *Chenopodium anthelminticum* L., *Chenopodium suffruthicosum* Wild, *Chenopodium chilense* Schrad, *Chenopodium retusum* Jaff. Ex Moq, *Chenopodium querciforme* Murr, *Chenopodium vagal* Standl e *Chenopodium spathulatum* Sieber (GRANDI, 2014; OLIVEIRA, FERREIRA e BARROSO, 2014; TAVARES, 2002).

Segundo Castellanos (2008), a palavra *Chenopodium* é procedente do grego χήν (cheén), ganso e πούς (póús), pé, que nos descreve de certa maneira a forma das folhas, pois elas têm 3 lóbulos. *Ambrosioides* vem do grego Ἀμβροσία, α (a), prefixo da negação e βρότος (caldos), mortal, que mitologicamente é um alimento reservado exclusivamente para os deuses do Olimpo. Também é conhecida como *Dysphania ambrosioides*.

Figura 1– Mastruz ou erva-de-Santa-Maria (*Chenopodium ambrosioides* L.)



Fonte: Grandi (2014).

A erva-de-Santa-Maria é nativa das Américas do Sul e Central, assim como do sul do México e tem propriedades aromáticas fortemente notáveis. Tem sido cultivada e naturalizada em todo o mundo. No Brasil, encontra-se em quase todo o território vegetando especialmente em lugares férteis, e em torno de habitações, hortas, jardins e roças (LAMEIRA e PEREIRA, 2008). Os nomes mais comuns para essa espécie no Brasil são mastruz, erva-de-Santa-Maria, erva-de-bicho, mastruço, menstruço, ambrosina, ambrósia, anserina, mentruz, erva-do-formigueiro, erva-vomiqueira, chá do México, lombrigueira, erva-mata-pulga, quenopódio, entre outros (OLIVEIRA, FERREIRA e BARROSO, 2014).

Segundo Lorenzi e Matos (2008) a *Chenopodium ambrosioides* L. é uma das plantas mais utilizadas como medicina comum no mundo, conforme os levantamentos da OMS.

Em alguns países a planta é usada para tratar pragas em locais de armazenamento de cereais, seja contra insetos ou contra fungos em alternativa a inseticidas e fungicidas do mercado. A *Chenopodium ambrosioides* recebe diferentes denominações populares de acordo com o país, como pode ser ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Nomes e usos populares da *Chenopodium ambrosioides* L. conforme países e regiões

Nome Popular	Uso Popular	Referências
Brasil Erva-de-Santa-Maria, Mentruz (Sudeste); Mastruz, Mastruço (Norte-Nordeste); Ka'aare (Em Guarani)	anti-helmíntica; dores musculares; expectorante; lesões cutâneas de leishmaniose; repelente; lesões nos ossos; antibacteriana; gripe; antifúngico; inflamações uterinas e inflamações em geral; tônica (indígenas)	Marins <i>et al.</i> (2011); Monteiro <i>et al.</i> (2011); Ramos, Soledade e Baptista (2011); Alencar <i>et al.</i> (2010); Jardim <i>et al.</i> (2008); Monzote <i>et al.</i> (2007); Borba e Amorim (2004); Lorenzi e Matos (2008);
Ásia Wormseed, Mexican Tea, Epazote (China) wormseed, sweet pigweed ou Mexican tea	anti-helmíntica; antifúngico; antibacteriana; antimalárico	Hewis <i>et al.</i> (2020) e Chu, Hu e Liu (2011)
Europa Té, té borde, té burrero, té de España, té de Europa, té de Méjico, té de Montserrat, té de Nueva España, te español, té falso, té hormigoso, té hormiguero, té rico, té silvestre, te verde (Espanha). Tè sicilianu (Itália) herbe aux vers (França)	Digestivo e laxante (Espanha); Anti-helmintico (Itália)	Hewis <i>et al.</i> (2020); Napoli (2008); De Santayana, Blanco e Morales (2005); Camargo e Scavone (1978);
África Taimborontsiloz, Tetrolokolobe ou Akatasevabe (Madagascar); Kanunca uncono (Distrito de Massingir)	Anti-helmíntico, cardiotônico e antiespasmódico (Nigéria, Camarões e Madagascar); Dor de estômago e úlceras intestinais (Distrito de Massingir)	Ribeiro <i>et al.</i> (2010); Gbolade, Tira-Picos e Nogueira (2010); Noumi e Yomi (2001)
Outros países da América paico, hierba santa, hierba de Santa María, hierba hedionda, paico macho, paico oloroso, pichín e té de los jesuítas (colombia); Epazote (México); Sime	Anti-helmíntico (Caribe), para digestão e carminativo (Colombia) Picadas de escorpião (México); Epazote (Estados Unidos da América)	Villalobos-Delgado <i>et al.</i> (2017); Blanckaert <i>et al.</i> (2011); Quinlan, Quinlan e Nolan (2002);

Fonte: Adaptado de Sá (2013).

O mastruz é utilizado na medicina popular brasileira no combate a problemas digestivos, reumáticos e verminoses. Também é bastante utilizado em misturas das folhas com leite no tratamento de afecções respiratórias e como fortificantes em casos de tuberculose.

Ainda é empregada na forma de compressas para redução dos processos inflamatórios em contusões. Além disso é utilizado como cicatrizante, fungicida, antipirético, antirreumático, antimicrobiano, na cura de úlceras e contra queda de cabelo (FALCÃO e MORAES, 2020; SÁ, SOARES e RANDAU, 2015; OLIVEIRA, FERREIRA e BARROSO, 2014).

Segundo Azevedo (2017) nas folhas há 9% de óleo essencial com 90% de ascaridol e os frutos contêm 20% de óleo essencial com até 90% de ascaridol. Porém, essa composição pode variar de acordo com o método de extração e a procedência da planta conforme as condições de cultivo e linhagem genética. Hewis *et al.*, (2020), Pedro *et al* (2019), Albuquerque, Patel e Máthé (2018), Jesus *et al* (2018) e Thirumurugan *et al.* (2018) mostraram que essas plantas sintetizam seus metabólitos secundários para autoproteção e auto regulação. Os estudos indicaram que os metabólitos vegetais têm propriedades biológicas e organolépticas relevantes, que podem desempenhar papéis importantes na saúde humana e no bem-estar geral.

Ensaio descobriram que a *C. ambrosioides* contém ascaridol, taninos, flavonoides, kaempferol, cardiotônico, antraquinona, alcaloides, rutina, acetato de etila, n-heptadecano, n-hentriacontano, n-butanol, n-docosano, aritasona, cânfora, p-cimeno, p-cimol, β -pineno, β -cariofileno, geraniol, γ -gurjuneno, γ -terpineol, α -terpineol, α -terpineno, espinasterol, safrol, timol, terpineol, quercetina e crisina, entre outros (HEWIS *et al.*, 2020). Segundo Azevedo (2017) o óleo essencial é o responsável por conter os princípios ativos que conferem as propriedades terapêuticas do mastruz.

Segundo Grandi (2014) e Hewis *et al.* (2020) o óleo essencial da erva-de-Santa-Maria é constituído principalmente de ascaridol, (em maior concentração nas sementes), cineol, cimeno; e, ainda, salicilato de metila, cânfora, quenopodina, histamina, limoneno, ácidos butírico e salicílico.

2.3 FUNDAMENTOS DE SECAGEM

Os materiais alimentícios de origem vegetal podem ser tratados como um meio poroso ideal que contém cerca de 80-95% de água. Esta alta quantidade de água leva a uma maior tendência de crescimento de micro-organismos que tornam as frutas e vegetais altamente perecíveis. Por esta razão, cerca de 1,3 bilhões de toneladas de frutas e vegetais sazonais são perdidas anualmente devido à falta de uma técnica de processamento adequada (KHAN *et al*, 2016). A desidratação é o método de conservação de alimentos mais antigo e mais frequentemente utilizado (HARDY e JIDEANI, 2020). A secagem sempre foi um dos melhores métodos de conservação a longo prazo (MOSES *et al.*, 2014).

Tradicionalmente, a secagem é considerada como um processo de conversão dos alimentos em qualquer forma (sólida, líquida, semilíquida) para um produto sólido final de baixa umidade e estável (HARDY e JIDEANI, 2020; QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019).

A atividade da água dos alimentos é reduzida substancialmente durante a secagem, tornando-os estáveis contra a deterioração microbiana e adiando deteriorações de origem físico-química (OLIVEIRA, BRANDÃO e SILVA, 2015; QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019).

Vários métodos de secagem têm sido propostos para preservar os alimentos. O mais antigo e tradicional consiste em colocar os produtos agrícolas sobre terra batida, revestimento de piso exposto ao sol. Embora os métodos baseados na energia solar apresentem vantagens econômicas, sendo por este motivo amplamente utilizado em países tropicais, a qualidade do produto, parâmetros e questões relacionadas à segurança alimentar tornam-se muitas vezes difíceis de monitorar e controlar. Além disso, os produtos são vulneráveis a contaminações por sujeira e poeira, infestação por insetos e perda por aves e animais. Em decorrência as outras técnicas de conservação por períodos compridos como a refrigeração, tratamento térmico ou tratamentos químicos, a desidratação proporciona menor custo e operações mais simples (GURGEL, 2019; OLIVEIRA, BRANDÃO, e SILVA, 2015; KAUR *et al.*, 2008).

Os alimentos têm sido desidratados usando métodos osmóticos, convectivos, leito fluidizado, ôhmico, micro-ondas, vácuo ou liofilização. As técnicas de secagem mais comumente utilizadas, usam o calor para facilitar a vaporização da água de uma substância alimentar por meio da condução, convecção e radiação, com o vapor produzido e depois extraído através do ar forçado. Os processos utilizados na indústria alimentícia frequentemente empregam pelo menos uma etapa de secagem, resultando em produtos com reduzido conteúdo de líquido residual, o que confere alta estabilidade durante longos períodos de armazenamento. Diferentes processos de desidratação mostram diferentes impactos sobre as propriedades de qualidade do alimento alvo (FENG *et al.*, 2021; OLIVEIRA, BRANDÃO e SILVA, 2015).

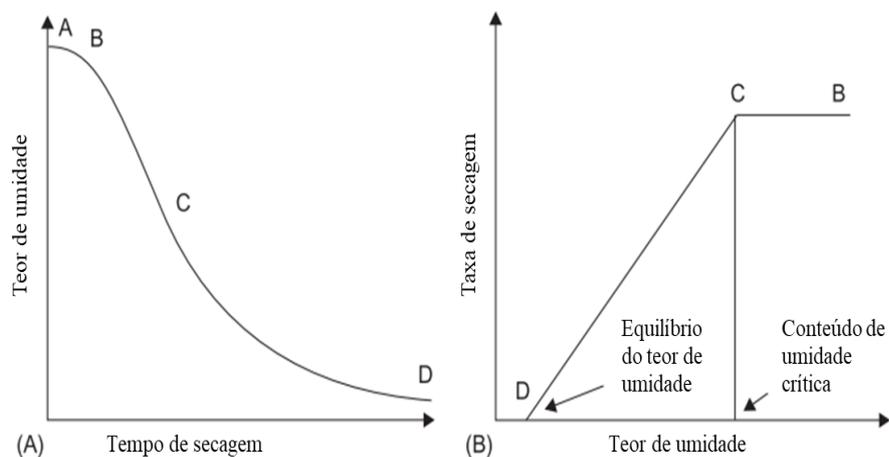
Embora as mudanças nas características de qualidade encontradas nos alimentos durante a secagem sejam enormes, os avanços recentes nas técnicas de secagem têm ajudado a minimizar isso. A evolução e a aplicação de novas técnicas de secagem ajudaram ainda mais no desenvolvimento de novos produtos desidratados e alimentos que satisfazem facilmente as exigências de qualidade e estabilidade e, ao mesmo tempo, são econômicos também (QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019).

Na secagem, existem dois processos concomitantes: transferência de calor, através da vaporização do líquido, e transferência de massa do líquido ou vapor presente no interior do material para a atmosfera na forma de vapor. Todavia, o controle da secagem depende das condições internas de transferência de massa, das características do sólido ou das condições externas, tais como da velocidade e temperatura do ar de secagem (GURGEL, 2019; FELLOWS, 2009).

Quando os alimentos são desidratados, eles não perdem água ao mesmo ritmo em todo o caminho. A taxa de eliminação de água continua a diminuir à medida que a secagem continua em condições fixas. A estrutura de uma curva de secagem varia dependendo do alimento, das várias categorias de secadores e das mudanças nas condições de secagem, incluindo temperatura, umidade, taxa e direção do fluxo de ar, espessura do produto, entre outros fatores (EGEA e LOBATO, 2014).

Quando os alimentos são colocados em um secador, há um curto período inicial de assentamento à medida que a superfície aquece até a temperatura do bulbo úmido (A–B na Figura 2A). A secagem então começa e, desde que a água se mova do interior do alimento na mesma velocidade em que evapora da superfície, a superfície permanece molhada. Isto é conhecido como o período de taxa constante e continua até que um certo teor crítico de umidade seja atingido (B–C na Figura 2 A e B). A temperatura da superfície do alimento permanece próxima à temperatura de umidade do ar de secagem até o final do período de taxa constante, devido ao efeito de resfriamento da água evaporada. Na prática, diferentes áreas da superfície do alimento secam em diferentes taxas e, em geral, a taxa de secagem diminui gradualmente no final do período de taxa constante (FELLOWS, 2016; BERK, 2008).

Figura 2 – Curvas de Secagem: A) Cinética de secagem e B) Taxa de secagem



Fonte: Adaptado de Fellows (2016)

O teor de umidade de um alimento pode ser expresso com base no peso úmido (massa de água por unidade de massa de alimento úmido) ou uma base de peso seco (massa de água por unidade de massa de sólidos secos no alimento) (FELLOWS, 2016; IBARZ; BARBOSA-CANOVAS, 2002).

Quando o teor de umidade do alimento cai abaixo do teor crítico de umidade, a taxa de secagem diminui lentamente até chegar a zero no teor de umidade de equilíbrio (ou seja, o alimento entra em equilíbrio com o ar de secagem). Isto é conhecido como o período de queda da taxa (HELDMAN, 2011).

De acordo com Fellows (2016), os alimentos não higroscópicos têm um único período de queda (C – D na Fig. 2A e B), enquanto os alimentos higroscópicos têm dois ou mais períodos. No primeiro período, o plano de evaporação se move da superfície para dentro do alimento, e a água se difunde através dos sólidos secos para o ar de secagem. O segundo período ocorre quando a pressão parcial do vapor de água está abaixo da pressão do vapor saturado, e a secagem é por dessorção (SINGH e HELDMAN, 2008).

Durante o(s) período(s) de queda, a taxa de movimento da água do interior para a superfície cai abaixo da taxa de evaporação da água para o ar ao redor, e a superfície seca (assumindo que a temperatura, a umidade e a velocidade do ar não sofreram alterações). Se a mesma quantidade de calor é fornecida pelo ar, a temperatura da superfície sobe até atingir a temperatura do ar seco. A maioria dos danos causados pelo calor aos alimentos pode, portanto, ocorrer no período de queda da taxa (FELLOWS, 2016).

Para minimizar isto, a temperatura do ar é controlada para corresponder à taxa de movimento de umidade e reduzir a extensão do aquecimento superficial. O período de queda é geralmente a parte mais longa de uma operação de secagem e, em alguns alimentos (por exemplo, secagem de grãos), o teor inicial de umidade está abaixo do teor crítico de umidade e o período de queda é a única parte da curva de secagem a ser observada. Durante o período de queda da taxa, os fatores que controlam a taxa de secagem mudam. Inicialmente os fatores importantes são semelhantes aos do período de taxa constante e a difusão de líquidos do interior para a superfície pode ser o principal mecanismo. Em estágios posteriores, a difusão de vapor pode ser mais importante (FELLOWS, 2016; MAROULIS; SARAVACOS, 2003).

O uso de modelos matemáticos que correspondem aos dados experimentais é significativo porque reduz a quantidade de tempo gasto no laboratório. Vários modelos estatísticos, teóricos, semiempíricos e empíricos têm sido propostos na literatura (GURGEL, 2019; GOMES, ALMEIDA e OLIVEIRA, 2017).

2.3.1 Secagem em camada de espuma (*foam mat drying*)

O processo de micro encapsulamento, também conhecido como técnica de secagem em camada de espuma (*foam mat drying*) nasceu na década de 1950 na Califórnia, Estados Unidos da América, e foi patenteada em 1961. É um método que desempenha uma rápida secagem de alimentos líquidos como sucos de frutas e também para alimentos pastosos como purê ou polpas (MARQUES, 2009; SANKAT e CASTAIGNE, 2004).

A secagem em camada de espuma evoluiu como um método importante de secagem. Trata-se de um processo que envolve a conversão de um produto líquido em espuma estável seguida de secagem ao ar. Esta é uma técnica simples e tem mostrado bons resultados na secagem de alimentos líquidos com baixa temperatura de transição vítrea. A secagem por espuma é adequada para a secagem de alimentos sensíveis ao calor, com alto teor de açúcar e viscosos, que geralmente são difíceis de secar. Além disso, é uma alternativa econômica e viável a muitos outros métodos de secagem para a produção de alimentos em pó (QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019).

A técnica é composta por três etapas: a) alteração da consistência líquida do suco ou polpa em uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes como a proteína de soja, albumina, ésteres de ácidos graxos e monoestearatos de glicerol; b) secagem do material em camada fina e c) pulverização do material desidratado. Durante o processo, a estrutura, a capacidade de expansão e a estabilidade da espuma desempenham um papel importante na movimentação de água durante a secagem e, conseqüentemente, na qualidade do produto final (HARDY e JIDEANI, 2020; BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011).

Enquanto a concentração de estabilizantes é ampliada, a densidade da espuma é reduzida, visto que uma maior porção de ar é agrupada durante a mistura. A espuma é espalhada em camadas finas em telas e levada ao secador, em temperaturas relativamente reduzidas (menor ou igual a 70 °C). O produto desidratado é moído e convertido em pó (GURGEL, 2019; FERREIRA, 2017; KADAM, WILSON e KAUR, 2010).

A estabilidade da espuma é de importância fundamental para o sucesso da secagem. Termodinamicamente elas são instáveis por causa de sua alta energia interfacial. A instabilidade pode ser classificada em dois tipos: espumas instáveis ou transitórias com tempos de vida útil de segundos e espumas permanentes com tempos de vida útil medidos em horas a dias. A espuma deve permanecer intacta durante todo o processo de secagem. Mais importante ainda, a espuma deve ser estável ao calor e manter sua estrutura pelo menos através do período de taxa

constante da secagem. A estabilidade inicial é muito importante, pois qualquer colapso na estrutura pode resultar em um distúrbio de todo o sistema de secagem. Se a espuma sobreviver à fase inicial de secagem, à medida que a secagem prossegue, com a remoção da umidade a estrutura se torna mais firme o que eventualmente leva a uma fina camada seca final (HARDY e JIDEANI, 2020; SANGAMITHRA *et al.*, 2014).

Muitos alimentos não possuem propriedades espumantes e, portanto, podem não formar uma espuma estável. Tais alimentos podem ser convertidos em espumas estáveis com a ajuda de alguns aditivos. Os aditivos que ajudam na formação de espumas estáveis são divididos em agentes espumantes e estabilizadores de espuma. Os agentes espumantes reduzem a tensão superficial entre as interfaces e a ajuda na formação de espuma do líquido. Um bom agente espumante ajuda na formação de um filme forte, viscoelástico e coesivo, possuindo excelente estabilidade térmica e mecânica. A espuma formada assim, será estável, o que é um pré-requisito para a este tipo de secagem. Os agentes espumantes são usados para incorporar o ar (QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019; SANGAMITHRA *et al.*, 2014).

Um aditivo alimentar, de acordo com a legislação brasileira (Portaria Nº 540 – SVS/MS, de 27 de outubro de 1998), é qualquer material utilizado na fabricação de um alimento com a finalidade de alterar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais do produto durante a fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, transporte, armazenagem ou manipulação. Aditivos como goma arábica, guar e xantana, maltodextrina e a proteína do leite, são alguns dos mais populares materiais utilizados na secagem em camada de espuma por possuírem alta solubilidade, baixa viscosidade e boas propriedades emulsificantes (BRASIL, 1998; DIÓGENES, 2018; CARNEIRO *et al.*, 2013).

A redução da densidade do ar é induzida pela adição de ar durante a agitação da mistura e o melhor agente espumante para a desidratação do leite de espuma é o que causa a maior redução desse parâmetro. Alguns ingredientes, como leite e clara de ovo (albumina), contêm compostos que têm potencial para produzir espuma e também estabilizar uma emulsão (GURGEL, 2019; THUWAPANICHAYANAN *et al.*, 2011).

Os ésteres de ácidos lácticos e monoglicerídeos, como o Emustab®, são um dos mais utilizados na indústria de alimentos. Este, um produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60, é muito utilizado para secagem em camada de espuma. A Liga Neutra®, outro produto utilizado, favorece as propriedades físicas das emulsões e suspensões otimizando a homogeneização dos ingredientes, além de aumento da viscosidade. Estes compostos ajudam na separação das fases dos alimentos e melhoram as

condições reológicas, criando um gel com a viscosidade desejada (SILVA, 2014a; BARRETO, 2011; GAVA, SILVA e FRIAS, 2008).

Existem diferentes tipos de proteínas que costumavam induzir espumas muito finas, como a albumina de ovo e a proteína de soja. O desempenho dos agentes espumantes pode ser medido por suas propriedades espumantes e qualidades finais dos pós. As propriedades espumantes de diferentes agentes podem ser afetadas por muitos fatores como concentração dos agentes espumantes, o conteúdo sólido de concentrados, tempo de bateadeira e temperatura ambiente durante a agitação (JAVED *et al.*, 2018; SOUZA, 2011).

O Portogel® apresenta-se como um emulsificante de baixo custo e que pode ser facilmente encontrado. Como citado por Oliveira (2018), o Portogel® possui em sua composição: água, propileno glicol, monoglicerídeos destilados, éster de poliglicerol e estearato de potássio.

Temperaturas amenas, menor tempo de processo devido à maior área de superfície exposta ao ar e maior velocidade de secagem são as maiores vantagens de se trabalhar com a secagem em camada de espuma. Estas qualidades triunfam sobre o comportamento da transferência de calor interna que é comprometida pelo considerável volume de gás presente na massa de espuma. A técnica além de facilitar uma célere transferência de água, ocasiona a obtenção de um produto poroso e de simples reidratação, sendo estudada em muitos alimentos sensíveis ao calor, como os sucos de frutas (ERBAY e ICIER, 2010; SANKAT e CASTAIGNE, 2004). As outras vantagens associadas a secagem em camada de espuma incluem retenção de nutrientes, fácil reconstituição e custo-benefício (ASOKAPANDIAN *et al.*, 2016).

A seleção do tempo e da temperatura de desidratação provém do produto a ser seco. Essa técnica tem como notável desvantagem, em comparação a outros meios de secagem de líquidos, o requisito de extensa área superficial de secagem para que seja possível suprir as altas taxas de produção, o que aumenta o custo de investimento. Outra inconveniência no método são as modificações que os aditivos podem causar as propriedades de sabor, aroma e cor do alimento (GURGEL, 2019; BERK, 2008).

De acordo Diógenes (2018) a secagem em camada de espuma concede várias oportunidades comerciais, sobretudo para alimentos sensíveis ao calor por ser uma técnica simples e barata que assegura a produção de produtos em pó com propriedades preservadas. Muitos pesquisadores utilizaram diferentes materiais para produzirem um produto com baixo teor de água, conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Relação de matérias-primas utilizadas na secagem em camada de espuma

Material	Referência(s)
Acerola	COELHO <i>et al.</i> (2019); GOMES, ALMEIDA e OLIVEIRA (2017)
Bacaba	DE CÓL <i>et al.</i> (2021)
Banana	GUAZI, LAGO-VANZELA e CONTI-SILVA (2019); GURGEL (2019); SEVERO (2016),
Beterraba	NG E SULAIMAN (2018)
Cacau	BULJAT <i>et al.</i> (2019); BENKOVIĆ <i>et al.</i> (2018)
Café	CRUZ, SARAIVA e TEIXEIRA (2017)
Camarão	HAMZEH <i>et al.</i> (2019)
Coco Verde	OLIVEIRA (2019a)
Cumbeba	DIÓGENES (2018)
Folha Da Amoreira Negra	SILVA (2021)
Folha Da Arruda	ROMÃO (2020); OLIVEIRA (2019b)
Folha Da Couve Manteiga	SILVA (2020a)
Folha De Alecrim	SOUZA (2021)
Folha De Guajiru	SILVA (2020b)
Folha Do Mastruz	CALDAS (2020); SIMÕES (2017)
Fruta-Pão	RESENDE <i>et al.</i> (2019)
Goiaba	FIGUEIREDO <i>et al.</i> (2018); MACIEL, (2016); SILVA (2014b); CRUZ (2013)
Graviola	ASSIS <i>et al.</i> (2021); OLIVEIRA <i>et al.</i> (2020); ASSIS (2017); OLIVEIRA (2018)
Hortelã	LEITE (2018)
Inhame	INDAH, ZANAI e GANESA (2020)
Jabuticaba	FERREIRA (2017)
Jambo Vermelho	GOUVEIA (2020)
Jamelão	CARVALHO <i>et al.</i> (2017)
Juá	NETO (2020); VASCONCELOS (2017)
Leite	GOMES <i>et al.</i> (2021); PAULA <i>et al.</i> (2020)
Limão	DEHGHANNYA <i>et al.</i> (2018) E DEHGHANNYA <i>et al.</i> (2019)
Pinha	KHODIFAD E KUMAR (2020)
Mamão	EL-SALAM; MOHAMMED e HAMMAD (2021)

Manga	LOBO (2017)
Maracujá	SAMYOR, DEKA e BARAN (2021); SOUSA <i>et al.</i> (2020)
Noni	BATISTA <i>et al.</i> (2020); LIMA (2020)
Ovos	PINHEIRO <i>et al.</i> (2020); MANGUEIRA (2018); PEREIRA (2015)
Pequi	PINTO <i>et al.</i> (2018)
Pitaya	MACEDO <i>et al.</i> (2021)
Queijo	IZADI <i>et al.</i> (2020)
Romã	AKTAS e TONTUL (2021)
Sangue Bovino	OLIVEIRA (2017)
Umbu	SOUZA <i>et al.</i> (2020)

2.3.2 Ajuste Matemático

Uma equação de secagem utilizando modelos empíricos é importante não apenas para descrever a remoção de água, mas também para descrever a penetração de calor durante esta remoção quando é utilizado ar quente. Além disso, as equações são necessárias para a previsão da redução do teor de umidade na fase de secagem, seja ela simples ou complexa. O número de equações disponíveis é enorme, e as curvas de secagem que produzem podem ter valores que variam entre si. O ajuste matemático deve ser utilizado para investigar dispositivos de secagem, seu dimensionamento, otimização e a viabilidade de seu uso comercial. Um modelo matemático que reflète satisfatoriamente o esgotamento da umidade do produto durante o processo de secagem é utilizado para a simulação, que se baseia na secagem de sucessivas camadas finas (GURGEL, 2019; SILVA *et al.*, 2014)

A modelagem dos parâmetros do processo é muito útil nos processos alimentícios. Os processos envolvidos são principalmente (bio) reações químicas e físicas. Estas mudanças prosseguem a um certo ritmo e com certa cinética. A modelagem permite descrever estas mudanças e suas taxas quantitativamente. A compreensão dos mecanismos básicos é vital para a modelagem de qualidade e o controle de qualidade (INYANG, OBOH e ETUK, 2018).

Também é importante para a engenharia e otimização dos processos. É por vezes caro conduzir uma experiência em escala real para determinar as condições adequadas para a secagem. Assim, a cinética de secagem é utilizada para expressar o processo de remoção de umidade e sua relação com as variáveis do processo e, portanto, um bom entendimento da taxa de secagem é importante para desenvolver um modelo de secagem. Ou seja, é um pré-requisito para simular ou ampliar com sucesso todo o processo para otimização ou controle das condições de operação (GUPTA e PATIL, 2014).

Modelos simples com um significado físico razoável são eficazes para fins de engenharia. O estudo elaborado da cinética de secagem descreve os mecanismos e a influência que certas variáveis de processo exercem sobre a transferência de umidade. Em outras palavras, pode ser utilizado para estudar as variáveis de secagem, avaliar a cinética de secagem e otimizar os parâmetros de secagem e as condições (QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019; YUN *et al.*, 2013).

Os modelos teóricos são inadequados e tendem a gerar resultados errôneos e são complexos para aplicações práticas. Além disso, fazem muitas suposições que levam a um número considerável de erros, limitando assim sua utilização no projeto de secadores. Uma equação teórica dá uma melhor compreensão dos processos de transporte, mas uma equação

empírica dá uma melhor adequação aos dados experimentais sem qualquer compreensão dos processos de transporte envolvidos (ONWUDE *et al.*, 2016).

Os modelos empíricos ajudam a entender a tendência das variáveis experimentais/processos tanto dependentes como independentes. Os principais desafios enfrentados pelos modelos empíricos são que eles dependem muito dos dados experimentais e fornecem informações limitadas sobre o calor e a transferência de massa durante o processo de secagem (ERBAY e ICIER, 2010).

Modelos semiteóricos foram desenvolvidos para facilitar o uso e para se adequar aos dados de secagem do material alimentar a ser seco. Foi dada muita ênfase ao desenvolvimento de modelos semiteóricos para alcançar a harmonia entre teoria e facilidade de uso. Os modelos semiteóricos são as soluções gerais simplificadas da segunda lei da Fick. Estes modelos, entretanto, funcionam apenas quando a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e umidade estão na faixa em que os modelos são desenvolvidos. A exigência de tempo é menor e as formas do material seco não são consideradas nos modelos semiteóricos. Entre os modelos semiteóricos estão o modelo de Henderson e Pabis, Lewis, Page e Page Modificado (INYANG, OBOH e ETUK, 2018; SILVA *et al.*, 2014).

A maioria dos trabalhos desenvolvidos em camada de espuma consideram as curvas de cinética de secagem para simular os experimentos. Além disso, várias experiências foram realizadas para classificar os materiais obtidos após a secagem e para avaliar as melhores condições de operação, tais como temperatura de secagem, espessura da camada, tipo e concentração de aditivos (espumantes/estabilizantes) (QADRI, SRIVASTAVA e YOUSUF, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

As folhas do mastruz foram compradas *in natura* na feira livre da cidade de João Pessoa. Foram selecionadas de acordo com uniformidade e bom estado de conservação. Após a aquisição, a matéria-prima foi sanitizada com água clorada (50 ppm) conforme o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (MAPA, 2005).

3.2 METOLOGIA

Simões (2017) no estudo da definição dos parâmetros de secagem das folhas do mastruz em camada de espuma teve como objetivo definir os melhores parâmetros para a o processo. Foram testados vários espumantes e feitos vários testes com quatro emulsificantes diferentes: carboximetilcelulose (CMC); albumina; Super Liga Neutra® e Emustab®. Para cada um dos emulsificantes foram testadas diferentes concentrações para avaliar a eficiência na formação da espuma. O autor concluiu que dos espumantes testados o Emustab® foi o que apresentou melhor resultado nas seguintes concentrações: 10, 20 e 30% e tempo de agitação: 4, 5 e 6 min.

Com o intuito de reduzir a concentração do agente espumante, Caldas (2020) utilizou menores concentrações do emulsificante Portogel®. Os valores do tempo de agitação e concentração foram baseados em trabalhos mais recentes que utilizaram menor concentração (LIMA, 2020; OLIVEIRA, 2019a; LEITE, 2018; OLIVEIRA, 2018).

Os experimentos foram realizados no laboratório de Termodinâmica pertencente ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) no Centro de Tecnologia (CT) do Campus I da universidade Federal da Paraíba (UFPB).

3.2.1 Preparação da espuma

As folhas do mastruz foram processadas no liquidificador de alta rotação com 300 mL de água destilada para cada 100 g de folhas, durante 1 minuto. Posteriormente o suco foi adicionado à batedeira (Arno deluxe inox SX84 com 8 velocidades) junto com o agente espumante.

O agente espumante (AE) utilizado para obtenção de espuma foi o Portogel®. Os tempos de agitação (min) e a concentração de AE (%) foram definidos em testes preliminares para definição do planejamento experimental fatorial completo (CALDAS, 2020).

3.2.2 Planejamento experimental fatorial completo

Com base no trabalho de Simões (2017) e Caldas (2020), foi feito um Planejamento Experimental Fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais para verificar a influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as variáveis independentes com seus respectivos níveis e valores reais e a matriz do planejamento experimental fatorial, respectivamente.

Tabela 1 - Valores codificados e reais das variáveis independentes

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	1
Concentração de Portogel® - C (%)	3	5	7
Tempo de agitação - t_{ag} (min)	3	5	7
Temperatura de Secagem - T (°C)	50	60	70

Tabela 2 – Matriz do planejamento experimental fatorial 2^3+3 pontos centrais

N° do Experimento	Variáveis independentes		
	C (%)	t_{ag} (min)	T (°C)
1	-1 (3)	-1 (3)	-1 (50)
2	+1 (7)	-1 (3)	-1 (50)
3	-1(3)	+1 (7)	-1 (50)
4	+1(7)	+1 (7)	-1 (50)
5	-1 (3)	-1 (3)	+1 (70)
6	+1 (7)	-1 (3)	+1 (70)
7	-1(3)	+1 (7)	+1 (70)
8	+1(7)	+1 (7)	+1 (70)
9	0 (5)	0 (5)	0 (60)
10	0 (5)	0 (5)	0 (60)
11	0 (5)	0 (5)	0 (60)

A metodologia de planejamento experimental fatorial completo foi executada visando a proposição de modelos estatísticos apropriados para prever adequadamente as características do material seco obtido das folhas do mastruz.

3.2.3 Características físico-químicas da espuma

Para a caracterização física da espuma os experimentos foram realizados conforme mostrado na matriz do Planejamento Experimental Fatorial Completo (Tabela 2). Como a variável temperatura não possui influência na caracterização física da espuma, seu efeito foi desprezado nas análises estatísticas.

Densidade

O método utilizado para determinar a densidade de espuma do mastruz é de acordo com Ng e Sulaiman (2018). Uma proveta padrão de 100 mL de peso conhecido foi preenchida com a espuma das folhas do mastruz e o excesso foi retirado.

O peso total da proveta com a espuma foi anotado. O peso do corpo denso foi então subtraído do peso total para se obter o peso da espuma. A densidade da espuma foi medida na forma de massa por volume de espuma e expressa em g/cm³ como mostra a Equação (3.1). Os experimentos foram realizados em triplicata.

$$\rho_{amostra} = \frac{m_{amostra}}{V_{proveta}} \quad (3.1)$$

Em que:

$m_{amostra}$ – massa da amostra (g);

$V_{proveta}$ – volume do picnômetro (cm³).

Capacidade de expansão

A capacidade de expansão foi determinada usando Equação (3.2) como foi mostrado por Mangueira (2018) a partir dos resultados de densidade obtidos. Os experimentos foram realizados em triplicata.

$$Exp (\%) = \frac{\frac{1}{\rho_{espuma}} - \frac{1}{\rho_{suco}}}{\frac{1}{\rho_{suco}}} * 100 \quad (3.2)$$

Sendo:

ρ_{espuma} – densidade (massa específica) da espuma (g/cm³);

ρ_{suco} – densidade (massa específica) do suco do mastruz (g/cm^3).

Capacidade de incorporação do ar (*over run*)

A capacidade de incorporação foi calculada para determinar a quantidade de ar incorporado ao suco durante a batidura. Foram utilizados aproximadamente 100 mL do suco. O método é citado por Ng e Sulaiman (2018) e Gurgel (2019).

Esta análise foi realizada para cada concentração de espumante e para cada tempo de agitação de acordo com o Planejamento Experimental (Tabela 2). Foi calculado usando a diferença de volume de polpa antes e depois da formação de espuma como de acordo com a Equação (4.3).

$$\% \text{ de over run da espuma} = \frac{v_{espuma} - v_{suco}}{v_{suco}} * 100 \quad (3.3)$$

Em que:

v_{espuma} – volume da espuma antes da batidura (cm^3);

v_{suco} – volume do suco antes da batidura (cm^3).

Estabilidade

O teste de estabilidade avalia o volume de líquido drenado, conforme o método descrito por Karim e Wai (1999), fundamentada no princípio de que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume do líquido drenado na proveta.

O método consiste em depositar de 15 a 20 g de espuma em um funil com filtro de nylon (adaptação do laboratório) em proveta graduada e deixa-las em repouso. O desprendimento da primeira gota de líquido, acusará que o cronômetro poderá ser acionado. Sugere-se um tempo fixo de 5 minutos, para observar a medida do volume total de líquido drenado neste intervalo de tempo.

O material foi mantido nas temperaturas de secagem em estufa com circulação de ar por 90 minutos. Os experimentos foram feitos em triplicata. Nas Equações 3.4 e 3.5 são mostrados como foram feitos os cálculos.

$$\text{Estabilidade} = \frac{1}{v_2} \quad (3.4)$$

$$\emptyset = \frac{v_2}{v_1} \quad (3.5)$$

Em que:

v_2 – volume de líquido drenado (mL) durante os 5 minutos;

v_1 – volume inicial da espuma colocada no funil (mL);

\emptyset – fração de volume drenado.

Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade das espumas do mastruz, foi utilizado o método gravimétrico (BRASIL, 2008).

Aproximadamente 1 g da amostra foi pesada em três cadinhos que foram levados à estufa de esterilização na temperatura de 105°C durante 24 horas. Depois os cadinhos foram pesados e o valor anotado correspondente à massa seca. As Equações (3.6) e (3.7) foram usadas para o cálculo da umidade em base seca e base úmida respectivamente:

$$X_{(bs)} = \frac{m_i - m_s}{m_s} * 100 \quad (3.6)$$

$$X_{(bu)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (3.7)$$

Em que:

$X_{(bs)}$ – umidade em base seca;

$X_{(bu)}$ – umidade em base úmida;

m_s – massa de sólido seco da amostra (g);

m_i – massa inicial da amostra (g);

m_f – massa final da amostra (g).

pH

De acordo com a metodologia de Brasil (2008) e encontrada no trabalho de Mangueira (2018), o potencial hidrogeniônico foi determinado utilizando um pHmêtro digital (DLA-PH-Del Lab), preparou-se uma solução para cada concentração de agente espumante descrita no

planejamento experimental com 1 g da espuma e 10 mL de água destilada em um béquer. Em seguida, a solução foi agitada até que as partículas estivessem uniformemente suspensas. Após a diluição realizou-se a medição do pH da solução aquosa. As análises foram realizadas a temperatura ambiente e em triplicata.

Acidez total titulável (ATT)

A acidez por volumetria foi realizada de acordo com metodologia adaptada do Instituto Adolfo Lutz e reproduzida por Diógenes (2018) de acordo com a Equação 3.8.

Pesou-se 1 g de espuma das folhas do mastruz, em Erlenmeyer de 125 mL e adicionou-se 50 mL de água destilada. A solução foi agitada em agitador magnético por aproximadamente 5 minutos e coada em filtro de nylon. Foram adicionadas 4 gotas de solução de fenolftaleína e titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até atingir coloração rósea.

$$\%ATT = \frac{V_{NaOH} * f}{P * c} * 100 \quad 3.8$$

Em que:

V_{NaOH} – volume de solução de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL);

f – fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 M;

P – massa de amostra usada na titulação (g);

c – correção para solução de NaOH 1 M, 10 para solução NaOH 0,1 M e 100 para solução NaOH 0,01 M.

3.3 ENSAIOS DE SECAGEM

A espuma obtida após a batidura foi disposta em bandejas de alumínio em camadas finas (com espessura de 1cm) para padronizar e facilitar a saída de água das amostras, além, de permitir que a secagem ocorresse o mais uniformemente possível e, preferencialmente, por uma única superfície.

As secagens foram realizadas nas temperaturas pré-definidas no Planejamento Experimental Fatorial (50, 60 e 70 °C) numa estufa com circulação forçada de ar (TECNAL TE-394/I, Brasil), com velocidade média superficial da ordem de 0,7 m/s². Os dados foram utilizados para construir as curvas de secagem.

Monitorou-se a perda de água através de pesagens em balança semianalítica digital (Shimadzu, AY-220 – Capacidade de 220 g x 0,1 mg com precisão de 0,0001g) com precisão de duas casas decimais em tempos regulares de 5, 10, 20, 30 e 60 minutos, até que as amostras atingissem massa constante. O material seco foi removido da bandeja com o auxílio de espátulas, acondicionado em sacos plásticos e fechados para posterior realização das análises.

Nessa etapa foram estudadas as cinéticas de secagem em camada de espuma das folhas do mastruz e os experimentos foram realizados de acordo com o Planejamento Experimental Fatorial Completo $2^3 + 3$ pontos centrais descrito no item 3.2.2.

Por fim, determinou-se o teor de umidade final a fim de se calcular as razões do teor de umidade (Equação 3.9) e construir as curvas de cinética de secagem em função dos tempos de secagem.

$$RU = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (3.9)$$

Em que:

RU – razão de água (adimensional);

X – teor de água (b.s.);

X_i – teor de água inicial (b.s.);

3.3.1 Ajuste Matemático

As aplicações de modelos matemáticos para as curvas de secagem são importantes para descrever como a transferência de umidade ocorre no interior do sólido para evaporar na sua superfície e qual mecanismo de transferência controla o processo (LEITE, 2018).

Os modelos matemáticos (Quadro 3) de Henderson e Pabis (Equação 3.10), Page (Equação 3.11), Page Modificado (Equação 3.12) e Newton (3.13) foram utilizados para ajustar os dados experimentais das cinéticas de secagem das espumas. Para a escolha dos modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais da secagem da folha de mastruz foram considerados os seguintes critérios (COSTA *et al.*, 2021).

1. Inferência sobre o modelo usando o teste F:
 - Cálculo da distribuição $F_{significância} = p\text{-value}$: Fornecido no *Statistica 5*®.

- Teste de hipótese: $F_{significância} < a = 0,05$, o modelo proposto é estatisticamente significativo. Caso contrário, descartar o modelo proposto, pois não existe relação entre a variável dependente e as variáveis independentes.

2. Inferência sobre os coeficientes do modelo:

Existem três maneiras de verificar se os coeficientes são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 95% ou nível de significância de 5%:

- Limite inferior e superior do coeficiente contém zero. Em caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente;

- *p-level* do *Statistica 5*® é maior que 0,05. Em caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente; e

- Valor crítico da distribuição *t* de *Student* é maior que *t-value* fornecido pelo o *Statistica 5*. Caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente.

Quadro 3 – Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Autores	Modelos
Henderson e Pabis	$RU = a[\exp(-kt)]$ (3.10)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$ (3.11)
Page Modificado	$RU = a[\exp(-kt^n)]$ (3.12)
Newton	$RU = \exp(-kt)$ (3.13)

Em que:

RU – razão dos teores de água do produto, adimensional;

t – tempo de secagem;

k – coeficiente de secagem;

a, b, n – coeficientes dos modelos.

3.4 DETERMINAÇÃO DA 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, para todos os experimentos realizados. A análise foi realizada após a secagem do material.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

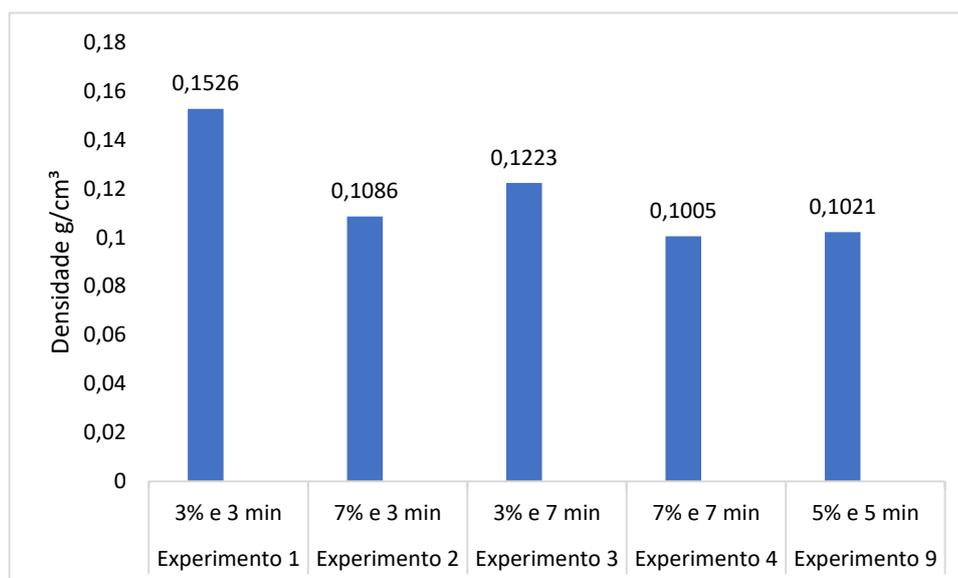
4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICA E QUÍMICA DA ESPUMA

Foram analisadas as seguintes características físicas da espuma: densidade; capacidade de expansão; capacidade de incorporação do ar (*over run*) e estabilidade. Como características físico-químicas da espuma foram analisadas o pH, o teor de umidade e acidez total titulável.

4.1.1 Densidade

Na Figura 3 são mostrados os valores de densidade dos experimentos 1, 2, 3, 4 e 9 do planejamento experimental fatorial completo.

Figura 3 - Valores de Densidade



Pela Figura 3 verificou-se que o menor valor de densidade média é a do experimento 4 (7%, 7min), num valor de 0,1005 g/cm³. Este foi o experimento de maior concentração de espumante e maior tempo de agitação. Em contrapartida, o maior valor de densidade encontrado, 0,1526 g/cm³ é a do experimento de menor concentração e menor tempo de agitação, experimento 1 (3%, 3min). A partir da Figura 3 foi observado que a densidade diminuiu com o aumento da concentração. É fácil inferir que efeito semelhante ocorre com relação ao tempo de agitação nas mesmas condições. A densidade aumentou com a diminuição

do tempo de agitação e da concentração do agente espumante. Esse comportamento é compatível com a premissa de que quanto menor o volume ocupado por determinada massa, maior será sua densidade.

Com o aumento da concentração de aditivo, a densidade da espuma diminuiu devido ao aumento da taxa de cisalhamento durante o processo de agitação, o que leva ao estouro de bolhas. Isto resultou em uma maior incorporação de gás na mistura e uma diminuição da densidade da espuma. Uma diminuição semelhante na densidade foi relatada por Cavalcante *et al.* (2020) no estudo da qualidade do pó de cagaita pelo método de secagem por camada de espuma usando diferentes agentes espumantes. Segundo Ng e Sulaiman (2018) a densidade da espuma de materiais espumados é menor que a de materiais não espumosos.

Oliveira (2018) observou que os experimentos da folha de graviola que apresentaram os maiores valores de densidade, possuíam a menor concentração de emulsificante e menor tempo de agitação.

Leite (2018) observou que a faixa ideal para a densidade da espuma de hortelã-da-folha-miúda situa-se de 0,14573 e 0,17767 g/cm³, de modo que, a espuma que apresentar densidade dentro dessa faixa tende a apresentar uma boa estabilidade, sendo viável para o processo de secagem em camada de espuma.

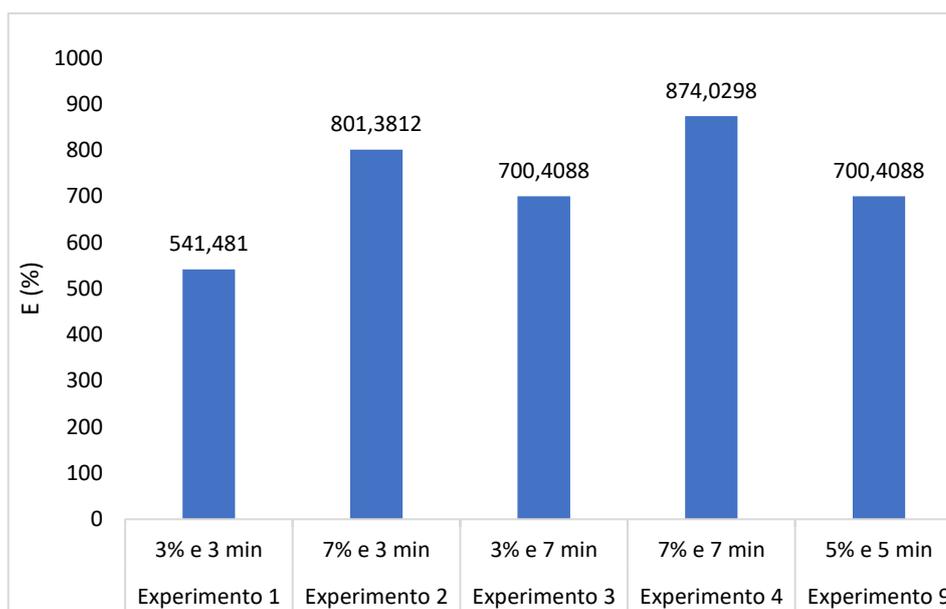
Lima (2020) e Oliveira (2019) relataram o mesmo comportamento para as folhas do noni e folhas de arruda e respectivamente. Logo, os valores obtidos nesse estudo estão de acordo com os estudos encontrados na literatura.

4.1.2 Percentual de expansão

O percentual de expansão da espuma é uma importante característica a ser estudada para avaliar a eficiência do método utilizado para formação da espuma. Um alto percentual de expansão indica que uma maior quantidade de ar está presa na espuma, e uma baixa concentração de espuma não é capaz de formar uma espessura crítica de lamela adequada para manter as bolhas de ar formadas aprisionadas. Ao se trabalhar com maior tempo de incorporação de ar aliado a uma maior concentração de agente espumante, consegue-se atingir uma cobertura de espuma mais uniforme, atingindo condições ideais onde o filme formado é capaz de manter as bolhas aprisionadas, aumentando assim a expansão da espuma (LEITE, 2018; KARIM e CHEEWAI, 1999).

Na Figura 4 são mostrados os valores de expansão das espumas dos experimentos 1, 2, 3, 4 e 9 do planejamento experimental fatorial completo.

Figura 4 – Valores de Expansão das Espumas (%)



Pelos valores da Figura 4 foi observado que os maiores valores de percentual de expansão estão relacionados aos maiores tempo de agitação como no experimento 2 (7% e 3 min) e 4 (7% e 7 min.) Além disso, os maiores valores de expansão foram encontrados nas espumas com maior concentração de Portogel® nos valores 874,0298% e 801,3812%, respectivamente. Leite (2018) observou nos seus experimentos que os valores mais elevados do percentual de expansão foram aqueles onde foram utilizadas a máxima concentração de emulsificante (7 %) e o tempo de agitação máximo (7 min) do planejamento experimental.

O menor valor de expansão foi para o experimento 1 (3% e 3 min) equivalente a 541,4810%. Esse resultado indica que o percentual de expansão aumenta de acordo com as duas variáveis, porém neste caso, a variável de maior influência foi a concentração de Portogel®, levando em conta que variável tempo de agitação não afeta de maneira significativa o percentual de expansão da espuma, visto que sua determinação é dependente dos valores de densidade média.

Simões (2017) ao estudar a secagem da folha de mastruz utilizando como emulsificante o Emustab®, nas condições 30% e 6 min encontrou a maior porcentagem (430%) e a menor em 10% e 4 min (210%). Comparado esses resultados é possível afirmar que o Portogel® teve melhor desempenho, pois, em menores concentrações (3, 5 e 7%) proporcionou maior expansão do que o Emustab® em maiores concentrações para a secagem da mesma matéria-prima e tempos de agitação próximos.

Oliveira (2018) encontrou maior expansão no ponto central (experimentos 9, 10 e 11), com seu valor em torno de 1500%. A concentração de emulsificante foi 4% e tempo de agitação

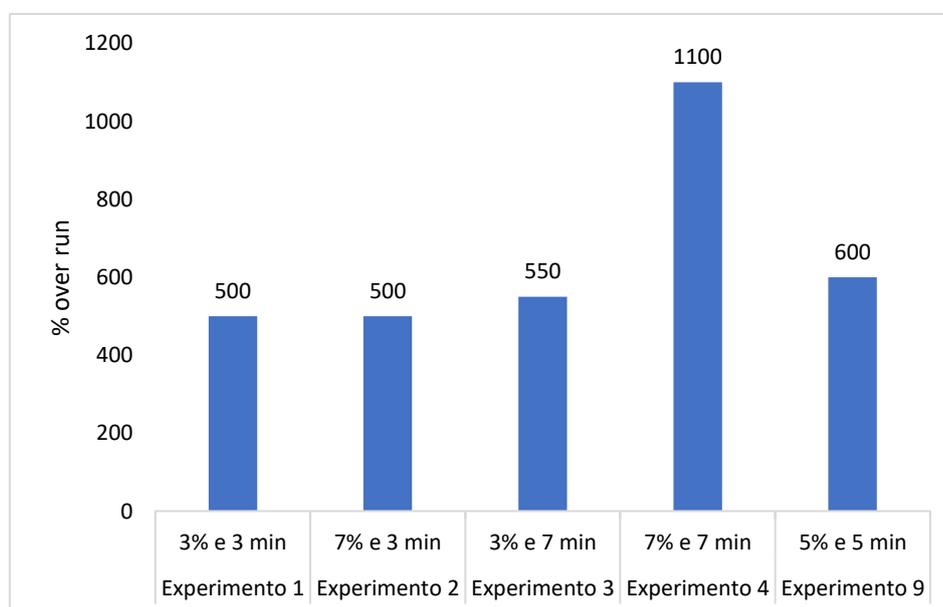
de 4 min. Os menores valores de percentual de expansão foram encontrados para os experimentos 1 e 5, que tiveram concentração de emulsificante de 3% e tempo de agitação de 3 min, sendo esses os que apresentaram as maiores densidades. De acordo com Pinto *et al.* (2018), a expansão da espuma acima de 100% é ideal para o processo de secagem. Então os valores obtidos são satisfatórios quando comparados ao valor estabelecido como ideal.

4.1.3 Capacidade de incorporação de ar (*over run*)

Outra importante propriedade física de espumas é a quantidade de gás ou ar que pode ser incorporado durante a sua mudança de estrutura, que passa de líquida-viscosa para sua estrutura semissólida (Leite, 2018).

Na Figura 5 são mostrados os valores da capacidade de incorporação de ar baseados no planejamento experimental utilizado. Os dados analisados comprovaram um comportamento já esperado de acordo com a literatura: quanto maior a concentração do agente espumante e tempo de agitação, maior a capacidade de incorporação de ar.

Figura 5— Valores da Capacidade de Incorporação de ar



Pela Figura 5 foi observado que o experimento 4 (7% e 7 min) apresentou o maior valor de *over run* que foi de 1100%. Os menores valores de *over run* (500%) ocorreram para as

condições mínimas de tempo de agitação (3%/ e 3 min e 7% e 3min). Vale acrescentar que esse valor não se destaca dos demais, que variaram em torno de apenas de 50%.

Simões (2017) obteve de 210 a 430% de *over run* em seu estudo e concluiu que para as maiores concentrações do espumante e maiores tempo de agitação, maior será a porcentagem de expansão. A maior porcentagem foi obtida nas condições (30% e 6 min) e a menor em (10% e 4 min). Na literatura não se verifica recomendações ideais a respeito da capacidade de incorporação do ar (*over run*) para produtos que são desidratados pela técnica de secagem em camada de espuma segundo Neto (2017) e Oliveira (2018). Porém, diferentes porcentagens de *over run* foram encontradas na literatura e que se mostraram eficientes para a produção de pós pelo método camada de espuma em diferentes alimentos.

Oliveira (2018) encontrou os menores valores de capacidade de incorporação de ar nas espumas formadas a partir dos valores mínimos de concentração de emulsificante e tempo de agitação. Em contrapartida, os maiores valores de capacidade de incorporação de ar foram nos valores máximos de concentração de emulsificante e tempo de agitação. O autor verificou que ambas as variáveis, concentração do emulsificante e tempo de agitação, exercem grande influência sobre a capacidade de incorporação de ar (*over run*), indicando que quanto maior forem seus valores, maior será a capacidade de incorporação de ar. Neto (2017), desidratando Cuxá em leite de espuma, obteve percentuais de *over run* entre 5% a 244% para diferentes agentes espumantes.

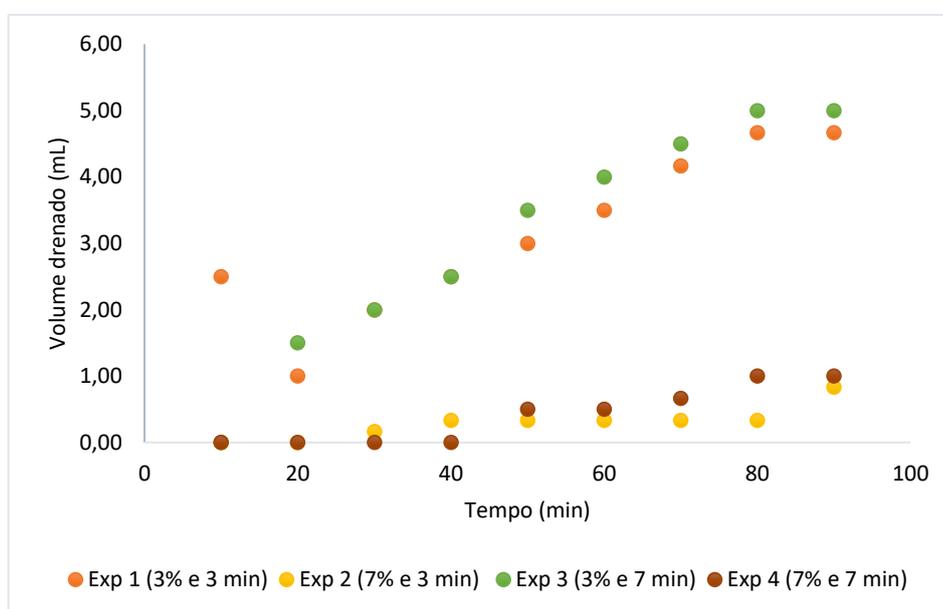
Leite (2018) encontrou valores entre 400 e 700% de *over run* e observou que os menores valores de capacidade de incorporação de ar para as espumas são aqueles ligados ao nível mínimo de concentração de emulsificante, em seu estudo. Mesmo o tempo de agitação entre eles variando entre o nível superior e o mínimo, houve uma diferença pouco expressiva entre os seus resultados de *over run*, num comportamento semelhante ao dos trabalhos citados anteriormente. Já os maiores valores obtidos do autor foram os dos experimentos nos quais foram utilizados o nível máximo da concentração de emulsificante e do tempo de agitação. Lima (2020) percebeu efeito similar ao constatar o menor valor de capacidade de incorporação, 325,15 % no ponto mínimo (3% e 3min) e maior capacidade de incorporação, 593,16% no ponto máximo (5% e 5min). Embora as concentrações de Portogel® sejam ligeiramente diferentes das usadas nesse trabalho, os resultados apresentam o mesmo comportamento.

4.1.4 Estabilidade

A estabilidade da espuma foi avaliada nas condições extremas (fatoriais máximos e mínimos) do planejamento experimental fatorial completo e no seu ponto central, durante 90min e em intervalos de 10 minutos, em triplicata. O estudo da estabilidade da espuma demonstrou em seus valores a influência do tempo e da temperatura em função do volume drenado.

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentadas curvas de estabilidade das espumas para as temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C, respectivamente.

Figura 6 – Estabilidade da espuma do mastruz a 50 °C

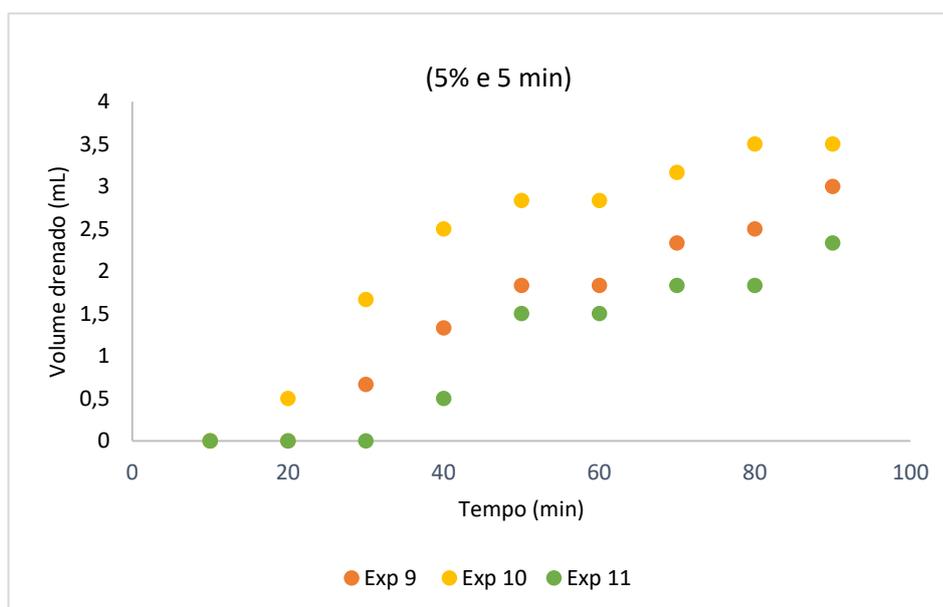


Para a temperatura de 50 °C a perda máxima de volume no teste foi de 5 mL e 4,67 mL, para os experimentos 1 e 5 respectivamente. Foi observado também que o experimento teve seu maior desprendimento de volume nos primeiros 70 minutos do processo, depois tende a estabilizar. Segundo Caldas (2020) em 50°C, o tempo de agitação não influencia muito na estabilidade ao contrário da concentração do agente espumante que em maiores concentrações implicam em menor volume drenado, portanto espumas mais estáveis dado que a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume drenado.

Oliveira (2018) observou um comportamento de curvas semelhantes na análise de estabilidade das folhas da graviola. O autor verificou um volume máximo drenado de 2,5 mL em 60 minutos num experimento de uma hora com o maior desprendimento nos primeiros 40

minutos do processo seguido de estabilização. Para Leite (2018) a perda máxima de volume no teste de estabilidade da folha de hortelã-da-folha-miúda foi de 6,6 mL, para os experimentos correspondentes 1 e 5 (mesmas condições do experimento atual).

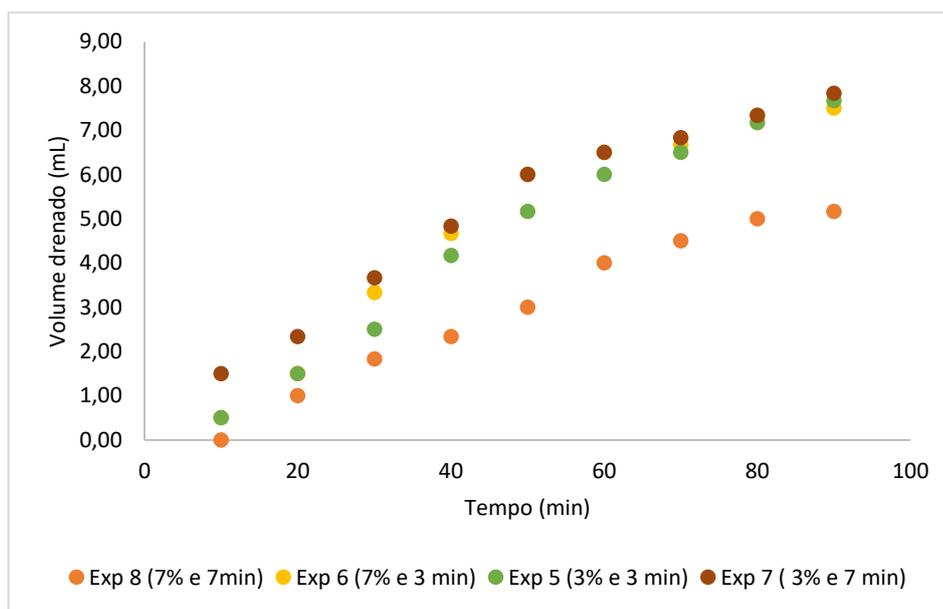
Figura 7 – Estabilidade da espuma do mastruz a 60 °C



Comportamento semelhante ao teste de estabilidade para as condições mínimas (Figura 6) pode ser verificado na Figura 7 para o ponto central. Houve uma boa reprodutibilidade dos resultados como também uma boa estabilidade da espuma, onde teve seu valor máximo de líquido drenado de 3,5 mL em 90 minutos de teste. Os experimentos dos pontos centrais apresentaram a mesma tendência de perda de volume. As curvas tiveram a mesma tendência nos ensaios realizados por Oliveira (2018), que obteve o valor máximo de líquido drenado de 2,6 mL em 60 minutos de teste.

Enquanto que na temperatura de 70 °C o volume desprendido chegou a 7,83 e 7,67 mL, para os experimentos 5 e 7 respectivamente. Tais observações indicam que a espuma formada com o emulsificante escolhido para se trabalhar se desestabiliza com o aumento da temperatura de secagem. Alguns dos fatores que podem ter comprometido a estabilidade da espuma e devem ser levados em conta diante desse comportamento, é a alta espessura da camada de espuma e a baixa área superficial exposta ao ar de secagem durante o experimento. Leite (2018) na temperatura de 70 °C também observou um aumento de volume drenado em relação aos demais ensaios (50 °C e 60 °C), chegando a um volume drenado de 4,4 mL em 60 minutos de teste.

Figura 8 - Estabilidade da espuma do mastruz a 70 °C



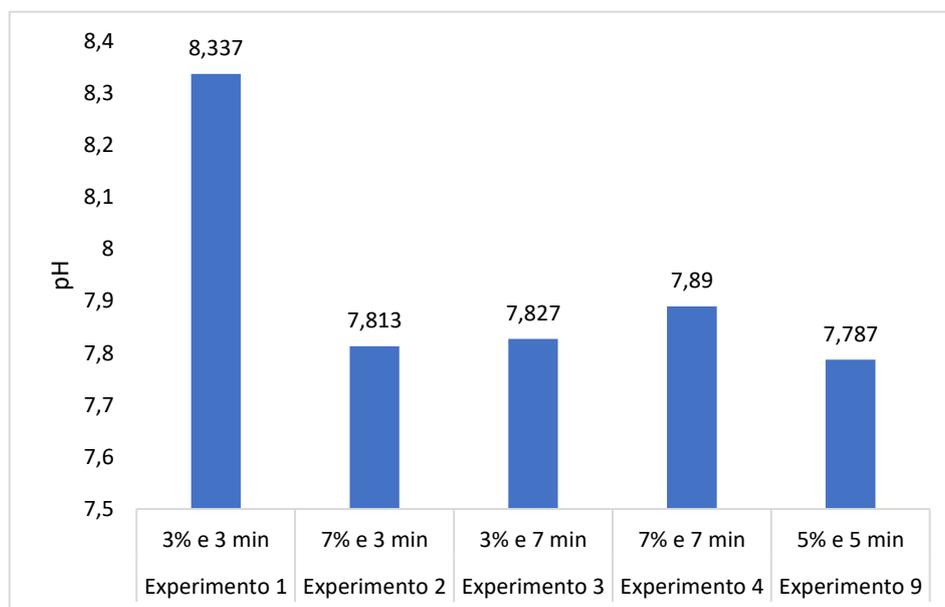
Bag *et al.* (2011) e Leite (2018) reportaram que o colapso de espumas também pode ocorrer devido à força da gravidade atuando sobre a espuma pelo aumento do volume, que resulta em fusão de pequenas bolhas de ar. Segundo Oliveira (2017) e Oliveira (2018), a avaliação da estabilidade da espuma, sob condições de aquecimento, permite avaliar a manutenção da estrutura da espuma ao longo do processo de secagem a partir da cinética de estabilidade. Oliveira (2018) notou que os experimentos das folhas da graviola apresentaram uma instabilidade significativa para as concentrações utilizadas do emulsificante ao serem submetidas as temperaturas de 50, 60 e 70 °C e que após 50 minutos de secagem, os experimentos apresentaram uma tendência a estabilização no desprendimento de líquido.

Como pode ser observado nas figuras acima, as curvas dos testes de estabilidade apresentaram comportamento semelhante, mesmo com a variação da temperatura entre os três níveis do planejamento experimental.

4.1.5 pH

Com excessão do experimento 1 (3% e 3 min), os valores de pH não variaram muito (Figura 9). Caldas (2020) explica que o pH da espuma é alcalino e está na faixa de 7,787 a 8,337. A maior alcalinidade corresponde à condição de mínimo e não é influenciado significativamente quando alteradas as condições.

Figura 9 – pH das espumas



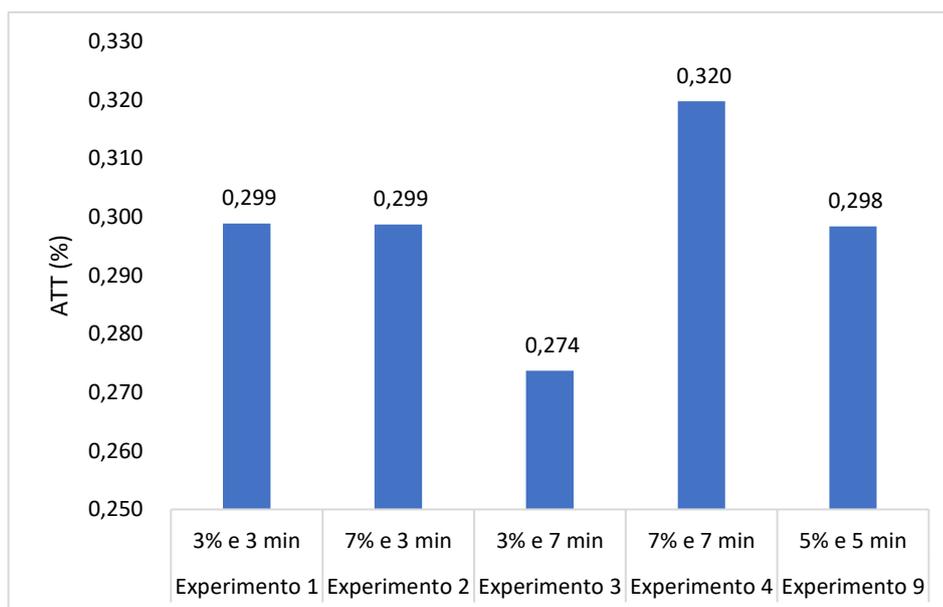
Na literatura é escassa a avaliação do pH das espumas, geralmente esse parâmetro é estudado apenas para o pó.

Diógenes (2018) em seu estudo da secagem da polpa de cumbeba, encontrou para sua espuma um valor de 4,27 utilizando 2,5% de Esmustab® e 1,5% de Liga Neutra®. Pinto *et al.* (2009), ao estudarem as propriedades das espumas da polpa de jenipapo formuladas por diferentes concentrações de Emustab (5, 10, 15 e 20%), encontraram para o pH um leve incremento de 3,38 a 3,69, em relação à polpa, com diferenças entre todas as concentrações. Oliveira (2019b) obteve valores entre 6,41 e 6,36 para a espuma da arruda utilizando PortoGel®.

4.1.6 Acidez Total Titulável – ATT (%)

Na Figura 10 são mostrados os valores de acidez total titulável das espumas dos experimentos 1, 2, 3, 4 e 9 do planejamento experimental fatorial completo.

Figura 10 – Valores de Acidez Total Titulável das espumas



Pela Figura 10 foi observado que os experimentos com tempo de agitação igual a 3 minutos tiveram a mesma acidez (0,299%). E a maior acidez refere-se ao experimento 4 (7% e 7min) com 0,320% e a menor para o experimento 3 nas condições 3% e 7 min (0,274%). No entanto, os valores não variam muito para todas as condições.

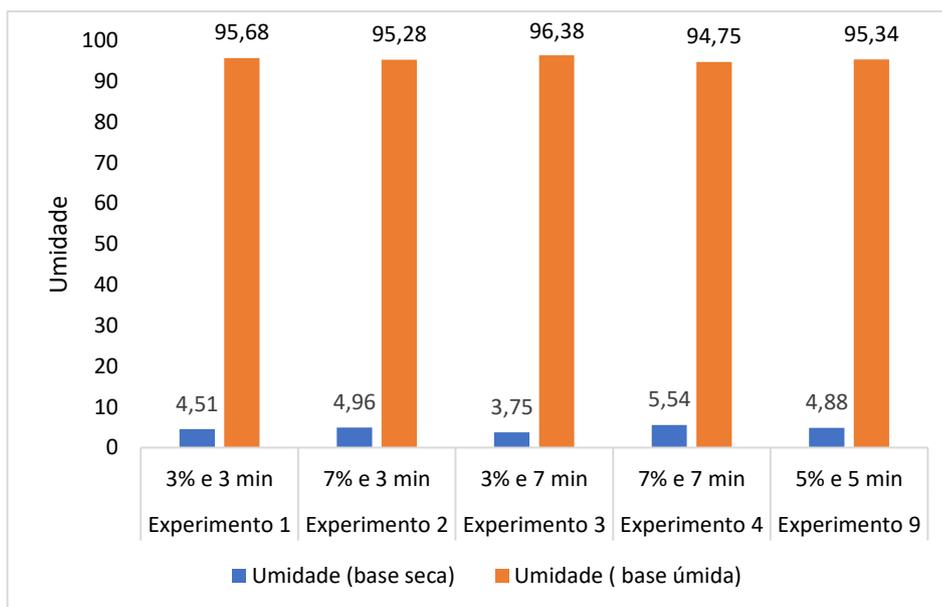
Diógenes (2018) em seu estudo da secagem da polpa de cumbeba, encontrou para sua espuma um valor de 0,38% utilizando 2,5% de Emustab e 1,5% de Liga Neutra®. Oliveira (2019b) encontrou valores próximos a 0,5% para os seus experimentos com a secagem da arruma em camada de espuma.

4.1.7 Umidade

Na Figura 11 são mostrados os valores de umidade (em bases seca e úmida) das espumas dos experimentos 1, 2, 3, 4 e 9 do planejamento experimental fatorial completo.

E pelos valores mostrados, os percentuais de umidade em base úmida são altos e isso está relacionado à preparação do suco, quando quantidades definidas de água são utilizadas para triturar as folhas. Percebeu-se que para condições experimentais analisadas, as espumas apresentaram umidades entre 94,75% e 96,38% para base úmida e de 3,75% a 5,54% em base seca.

Figura 11 – Umidade (base seca e base úmida) das espumas



Esses teores de umidade em base úmida estão próximos dos determinados por Diógenes (2018) em seu estudo da secagem da polpa de cumbeba. O autor encontrou para sua espuma um valor de 86,04 em base úmida utilizando 2,5% de Esmustab® e 1,5% de Liga Neutra®. Simões (2017) obteve valores entre 97,20 e 99,00%, para as espumas da folha de mastruz e Oliveira (2019b) encontrou valores entre 94,13 a 94,39 em base úmida e 16,20 a 16,84 em base seca na secagem das folhas da arruda em camada de espuma.

4.2 SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

4.2.1 Tempo de secagem

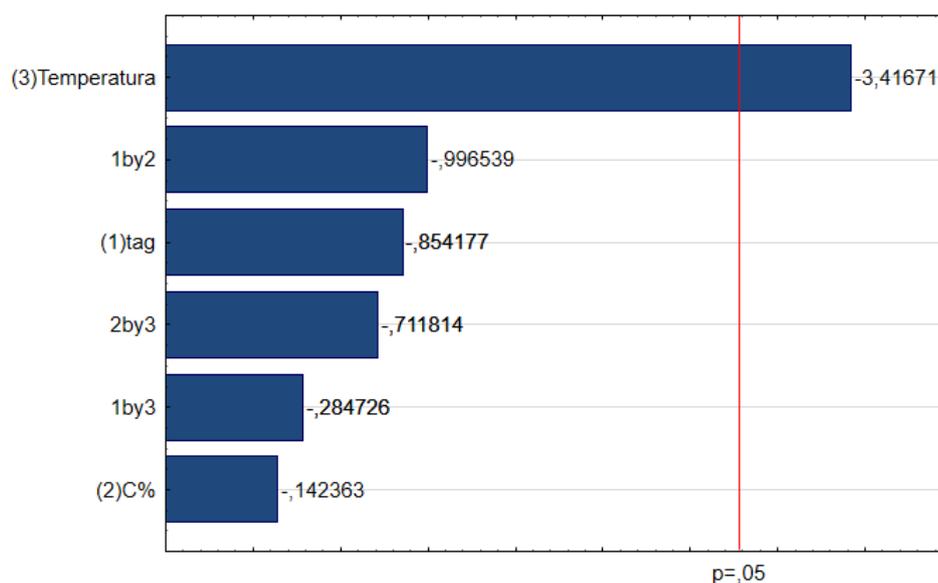
Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos tempos finais de secagem. Entender e otimizar esse parâmetro é de fundamental importância tanto para a qualidade do produto final como também para a demanda energética requerida na sua fabricação.

Tabela 03 - Valores da variável dependente na secagem em camada de espuma do suco das folhas do mastruz

Experimento	Variáveis independentes			Variável dependente
	C (%)	T (°C)	t _{ag}	Tempo final (min)
1	-1 (3)	-1 (50)	-1 (3)	200
2	+1 (7)	-1 (50)	-1 (3)	270
3	-1 (3)	+1 (70)	-1 (3)	230
4	+1 (7)	+1 (70)	-1 (3)	200
5	-1 (3)	-1 (50)	+1 (7)	130
6	+1 (7)	-1 (50)	+1 (7)	120
7	-1 (3)	+1 (70)	+1 (7)	110
8	+1 (7)	+1 (70)	+1 (7)	60
9	0 (5)	0 (60)	0 (5)	100
10	0 (5)	0 (60)	0 (5)	90
11	0 (5)	0 (60)	0 (5)	110

Pela Tabela 3 foi observado o tempo mínimo de 50 min, para o experimento 8, e tempo máximo de 260 min, para o experimento 1. O diagrama de Pareto (Figura 12) foi utilizado como análise estatística para avaliar a influência das variáveis independentes no tempo de secagem para nível de confiança de 95% ($p < 0,05$).

Figura 12 – Diagrama de Pareto para tempo de secagem



Para a variável resposta tempo de secagem, observou-se que apenas a variável temperatura exerce influência estatisticamente significativa sobre a variável resposta. O sinal negativo indica que quanto menor a temperatura maior será o tempo de secagem. O modelo estatístico para a tempo de secagem do mastruz foi obtido por regressão linear múltipla dos dados experimentais do processo de secagem e é apresentado na Equação 4.1 (Apêndice A):

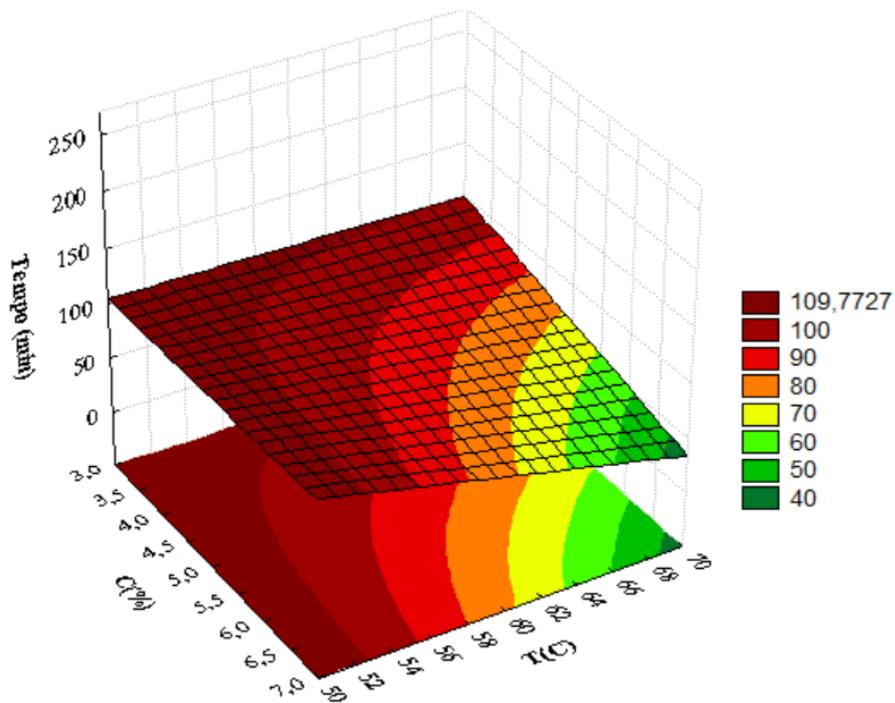
$$\text{Tempo} = 147,28 - 60T \quad (4.1)$$

Ao realizar a análise de variância (ANOVA) dos dados para a variável tempo de secagem (Apêndice B), observou-se que a 95% de confiança, o modelo representado pela equação (4.1) é estatisticamente significativo, assegurado pelo Teste F. Constatou-se através dos cálculos que o $F_{\text{Calculado}}$ é maior que o F_{Tabelado} ($11,67 > 7,71$) levando-se em conta o nível de confiança estabelecido e os graus de liberdade da regressão e do resíduo. Por meio do “valor-P” observou-se que as variáveis Concentração do espumante e Tempo de agitação não são significativamente relacionadas com a variável dependente, levando em conta que ambas, individualmente, apresentaram valor- $P > 0,05$, em um intervalo de 95% de confiança (0,4411 e 0,8937, respectivamente).

Por último e mais importante: o modelo sugere que aumentando a temperatura, o valor do tempo de secagem diminuirá. O que já é explicado na literatura.

Na Figura 13 é apresentada a superfície de resposta obtida para a variável em análise ao se manter tempo de agitação, concentração de emulsificante e temperatura de secagem constantes, em seus níveis médios.

Figura 13 – Superfície de Resposta para o Tempo de Secagem



Como já exposto no diagrama de Pareto, as interações entre as variáveis independentes não causaram significância estatística. Sendo assim, por meio da superfície de resposta, observou-se que os valores mais buscados são os menores tempos. Ou seja, maiores valores de temperatura são indicados para obter menores tempos de secagem.

4.2.2 Cinética de secagem

As curvas de secagem da espuma do suco da folha do mastruz nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C são mostradas na Figuras 14, 15 e 16. As curvas foram obtidas pelas condições do planejamento experimental fatorial completo (Tabela 2). As curvas estão dispostas na forma de umidade adimensional (RU) em função do tempo de secagem (min).

Figura 14 – Curvas de Secagem para Temperatura de 50 °C

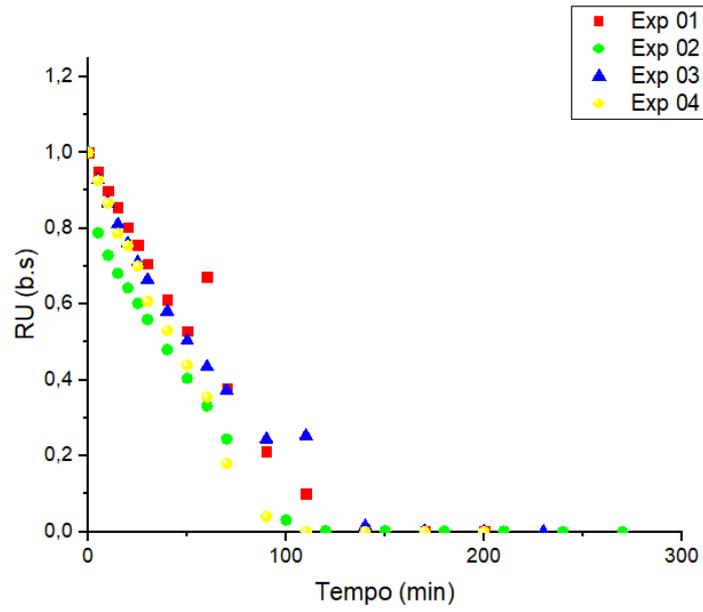


Figura 15 – Curvas de Secagem para Temperatura de 60 °C

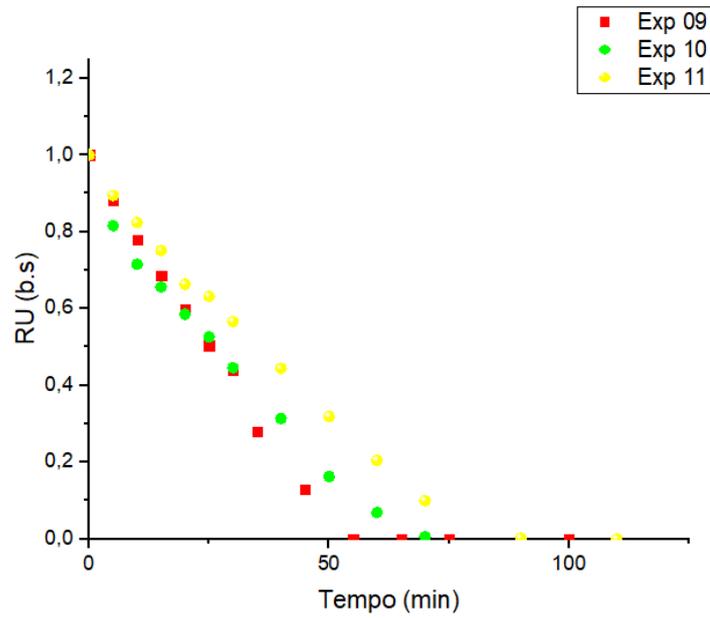
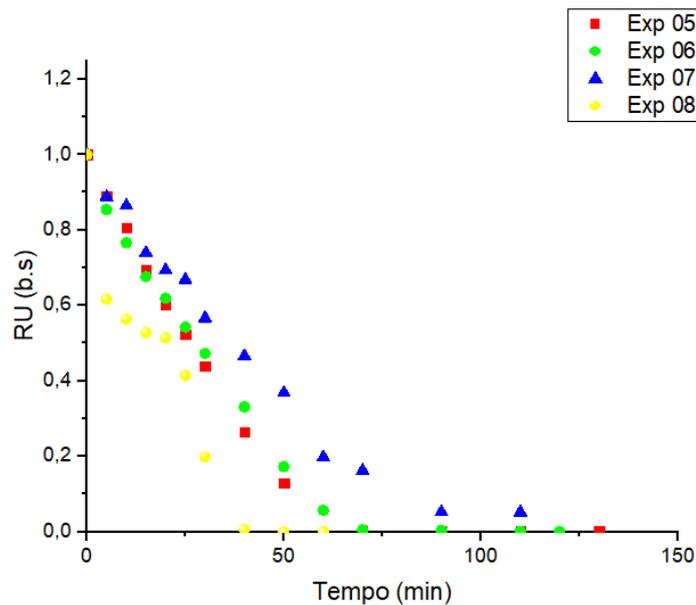


Figura 16 - Curvas de Secagem para Temperatura de 70°C



O comportamento das curvas de secagem das espumas das folhas do mastruz foi semelhante ao verificado por Oliveira (2018) ao trabalhar com a secagem das espumas das folhas da graviola. O tempo máximo do seu experimento foi de 300 min na concentração de 5% e 5 minutos de agitação em 70 °C. O tempo mínimo foi de 140 min nas mesmas condições de concentração e tempo de agitação em 50°C.

Lima (2020) encontrou menores tempos de secagem (120 min) realizados nas condições de temperatura máxima do planejamento (5% de Portogel®, 5 minutos de agitação e 70 °C de temperatura de secagem). E nas condições mínimas do planejamento (3% de Portogel®, 3 minutos de agitação e 50 °C de temperatura de secagem) o tempo de secagem de 330 minutos.

Nas Figuras 17, 18 e 19 são apresentados os gráficos da taxa de secagem em função da umidade final em base seca (Xbs) para os experimentos de secagem nas temperaturas de 50 °C, 60 °C e 70 °C. As curvas representam como a variação da secagem se relaciona com a umidade presente no sólido (MARTINS *et al.*, 2020).

Figura 17 – Taxa de Secagem pela umidade em Base Seca para os experimentos com temperatura de 50 °C.

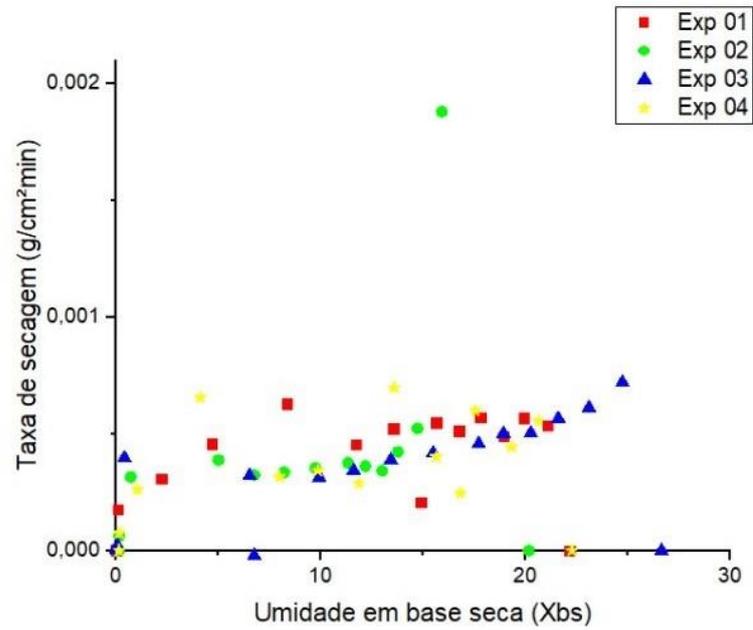


Figura 18 – Taxa de Secagem pela umidade em Base Seca para os experimentos com temperatura de 60 °C.

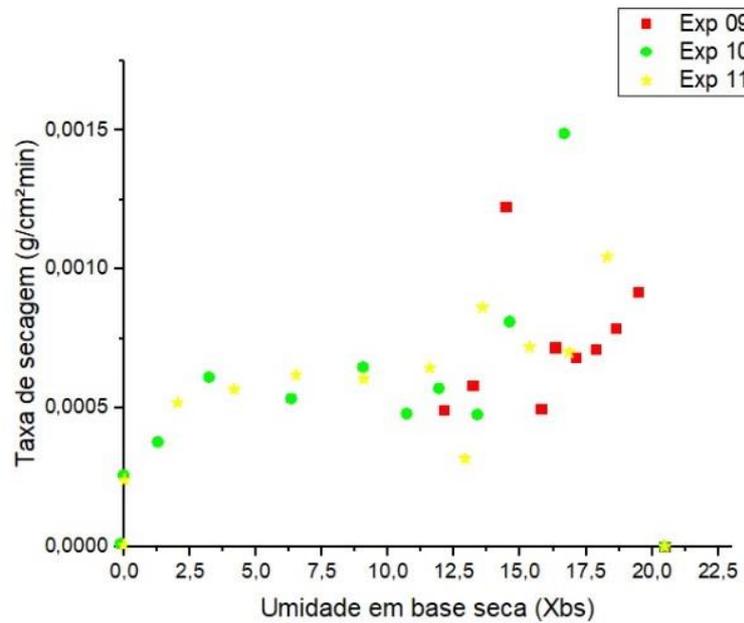
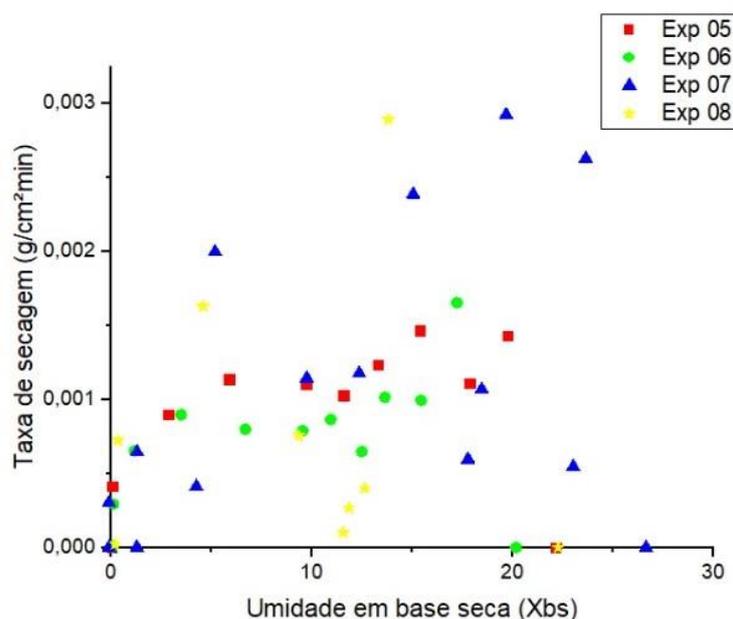


Figura 19 – Taxa de Secagem pela umidade em Base Seca para os experimentos com temperatura de 70 °C.



Observou-se nas Figuras 17, 18 e 19 que a temperatura de 70 °C apresentou taxa de secagem mais elevada em relação aos demais tratamentos, endossando a influência da temperatura sobre a taxa. Segundo Soares (2009), a taxa de secagem pode ser acelerada quando ocorre o aumento da temperatura de secagem ou com o aumento do fluxo de ar que passa pelo material por unidade de tempo. Outro aspecto que pode ser observado nas curvas é a presença de um longo período de taxa constante no decorrer do processo de secagem das folhas do mastruz e a existência de um curto período de taxa decrescente (na faixa entre 0 e 5 da umidade em base seca) em todas as temperaturas de secagem analisadas.

Para análise e exposição de como as variáveis interferem no tempo de secagem, uma assimilação entre pares de experimentos foi feita mantendo-se duas variáveis fixas, modificando a terceira.

Para avaliar a influência da concentração do agente emulsificante, foram comparados os experimentos 01 e 02 (Figura 20), que têm o mesmo tempo de agitação (3 minutos) e a mesma temperatura (50 °C) e os experimentos 07 e 08 (Figura 21) que possuem iguais tempo de agitação (5 minutos) e temperatura (70 °C):

Figura 20 – Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 01 e 02: $C = 3\%$ e $C = 7\%$, respectivamente.

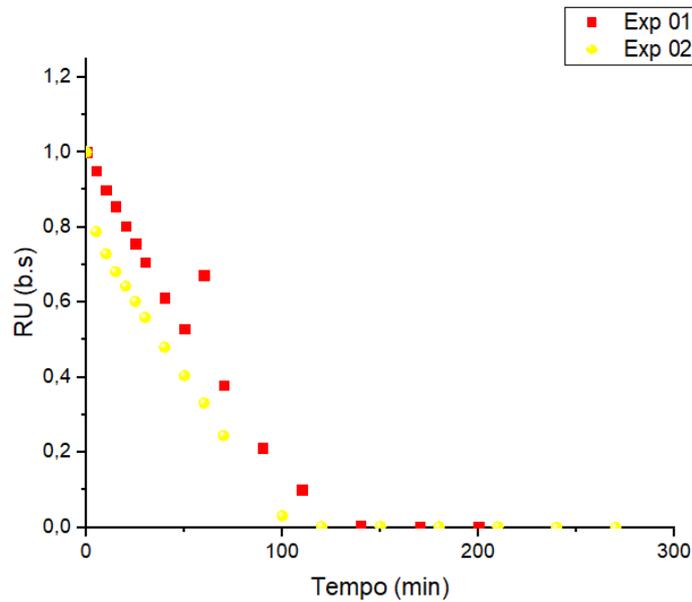
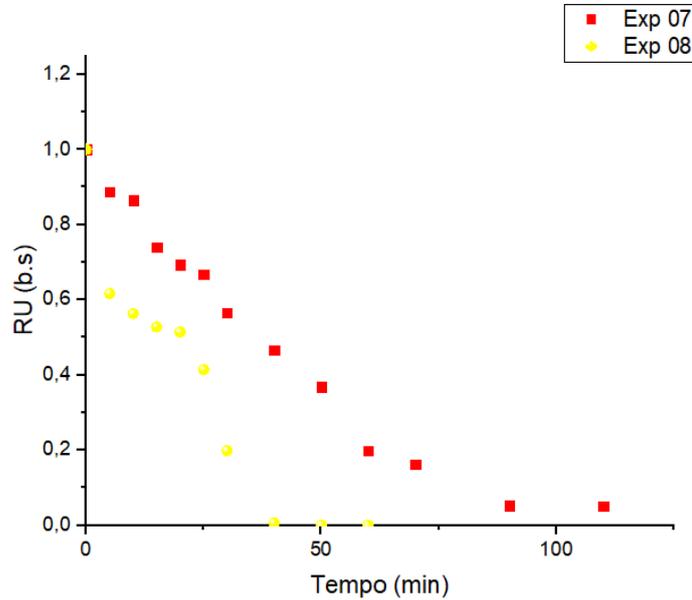


Figura 21 – Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 07 e 08: $C = 3\%$ e $C = 7\%$, respectivamente.



Observando as Figuras 20 e 21 foi notado que a concentração do agente espumante PortoGel® desempenhou influência significativa no tempo de secagem, ilustrado de maneira mais acentuada na Figura 21. Verificou-se que concentrações maiores de agente emulsificante, acarretam menores tempos de secagem. A diferença entre os tempos de secagem entre os experimentos 07 e 08 foi de quase 60 minutos (uma hora).

Para verificar a influência do tempo de agitação foram comparados os experimentos 01 e 03 (Figura 22), que têm a mesma concentração de agente emulsificante e temperatura (3% e 50 °C) e os experimentos 05 e 07 (Figura 23) que também possuem a mesma concentração de agente emulsificante e temperatura.

Figura 22 – Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 01 e 03: $T_{ag} = 3 \text{ min}$ e $T_{ag} = 7 \text{ min}$, respectivamente.

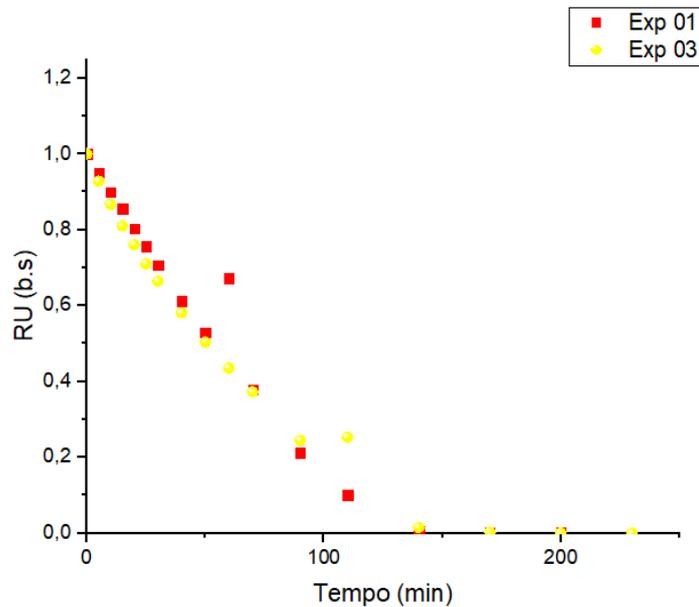
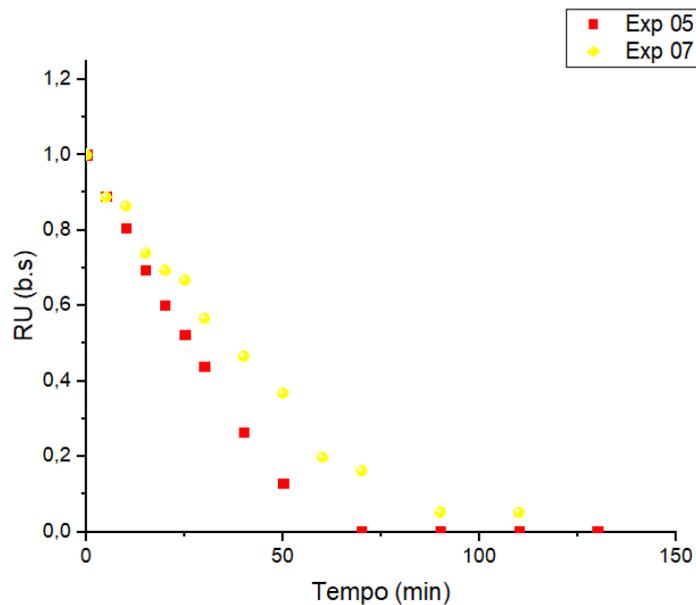


Figura 23 – Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 05 e 07: $T_{ag} = 3 \text{ min}$ e $T_{ag} = 7 \text{ min}$, respectivamente.

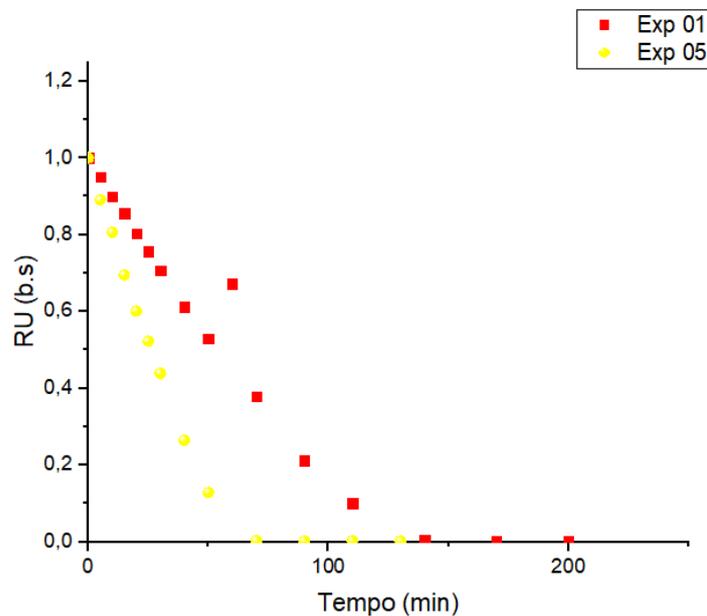


Pela análise das Figuras 22 e 23, percebeu-se que o tempo de agitação pouco influencia no percurso e no tempo final de secagem das folhas do mastruz. Os dois pares de experimentos

tiveram tempos de secagem próximos. O experimento 05 atingiu o teor final de umidade 20 minutos antes do experimento 07. Por sua vez, o experimento 01 alcançou o teor final de umidade 30 minutos (meia hora) antes do experimento 03.

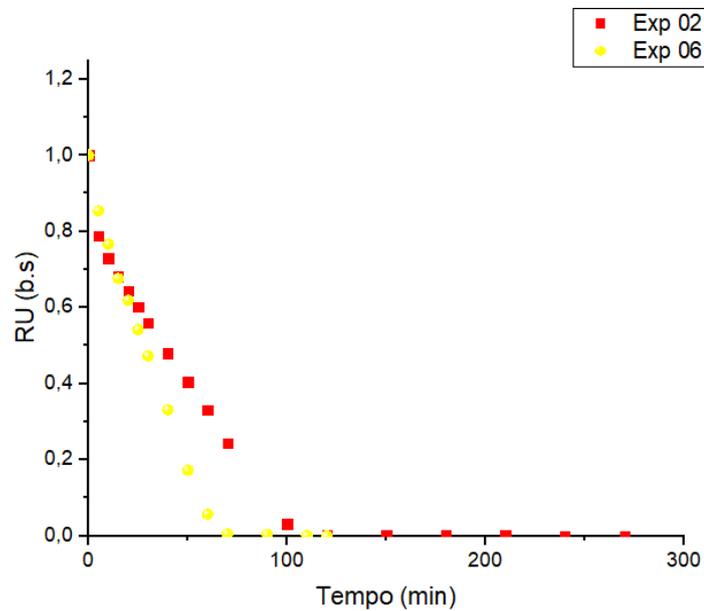
Para avaliar a influência da temperatura foram comparados os experimentos 01 e 05 (Figura 24), que tem a mesma concentração de agente emulsificante e o mesmo tempo de agitação (3% e 3 min) e os experimentos 02 e 06 (Figura 25), com concentração de agente emulsificante igual a 7% e tempo de agitação 3 min.

Figura 24 – Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 01 e 05: T = 50 °C e T = 70 °C, respectivamente.



Pelas análises das Figuras 24 e 25 (a seguir) e já apontado no Diagrama de Pareto (Figura 12), a temperatura possui grande influência no tempo final de secagem. Além disso, é ilustrado de maneira gráfica que, temperaturas maiores acarretam um menor tempo de secagem. Os experimentos 01 e 02 levaram quase o dobro do tempo dos experimentos 05 e 06 para alcançar o teor final de umidade.

Figura 25 – Curvas de Cinética de Secagem para os experimentos 02 e 06: T = 50 °C e T = 70 °C, respectivamente.



4.2.3 Ajustes dos dados experimentais com modelos matemáticos

Na Tabela 4 são mostrados 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 soma quadrática residual (SQ) nas suas respectivas temperaturas.

Tabela 04 – Parâmetros dos diferentes modelos matemáticos

Modelo	Temperatura	Parâmetro			R^2	SQ
		k	n	a		
Newton	70 °C	0,0307			0,9514	0,1429
	60 °C	0,0283			0,9749	0,1147
	50 °C	0,0168			0,9749	0,2145
Page	70 °C	0,0162	1,1865		0,9546	0,1433
	60 °C	0,0128	1,2231		0,9805	0,1151
	50 °C	0,0081	1,1819		0,9781	0,2149
Page Modificado	70 °C	0,0093 ^{NS}	1,3240	0,9459	0,9558	0,1152
	60 °C	0,0064	1,3927	0,9368	0,9824	0,1152
	50 °C	0,0039	1,3415	0,9419	0,9794	0,2152

Henderson e Pabis	70 °C	0,0313	1,0160	0,9716	0,1147
	60 °C	0,0291	1,0234	0,9754	0,1147
	50 °C	0,0173	1,0214	0,9752	0,2145

k – coeficiente de secagem; a e n – parâmetros dos modelos; NS – não significativo

De acordo com a Tabela 04 verificou-se que nem todos os modelos podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma da folha do mastruz. O modelo de Page modificado não foi estatisticamente significativo ao nível de confiança de 95% ou nível de significância de 0,05 na temperatura de 70 °C. Portanto, foi descartado. Os demais modelos apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação (R^2) e baixo valor de soma quadrática residual (SQ).

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 05:

Tabela 05 – Equações ajustadas dos modelos matemáticos

Modelo	Temperatura	Equação	
Newton	70 °C	$RU = e(-0,0012t)$	(4.2)
	60 °C	$RU = e(-0,0012t)$	(4.3)
	50 °C	$RU = e(-0,0168t)$	(4.4)
Page	70 °C	$RU = e(-0,0128t^{1,2230})$	(4.5)
	60 °C	$RU = e(-0,0128t^{1,2230})$	(4.6)
	50 °C	$RU = e(-0,0081t^{1,1819})$	(4.7)
Page Modificado	70 °C	NS	
	60 °C	$RU = 0,9368[e(-0,0064t^{1,3927})]$	(4.8)
	50 °C	$RU = 0,9419[e(-0,0039t^{1,3415})]$	(4.9)
Henderson e Pabis	70 °C	$RU = 1,0234[e(-0,0291t)]$	(4.10)
	60 °C	$RU = 1,0234[e(-0,0291t)]$	(4.11)
	50 °C	$RU = 1,0214[e(-0,0173t)]$	(4.12)

Nas Figuras 26, 27 e 28 são mostradas as curvas de secagem com os ajustes dos modelos matemáticos que foram significantes seguindo a ordem de maior valor de coeficiente de determinação (R^2).

Figura 26 – Ajuste modelo de Page Modificado, Page, Henderson e Pabis e Newton, respectivamente: 50 °C

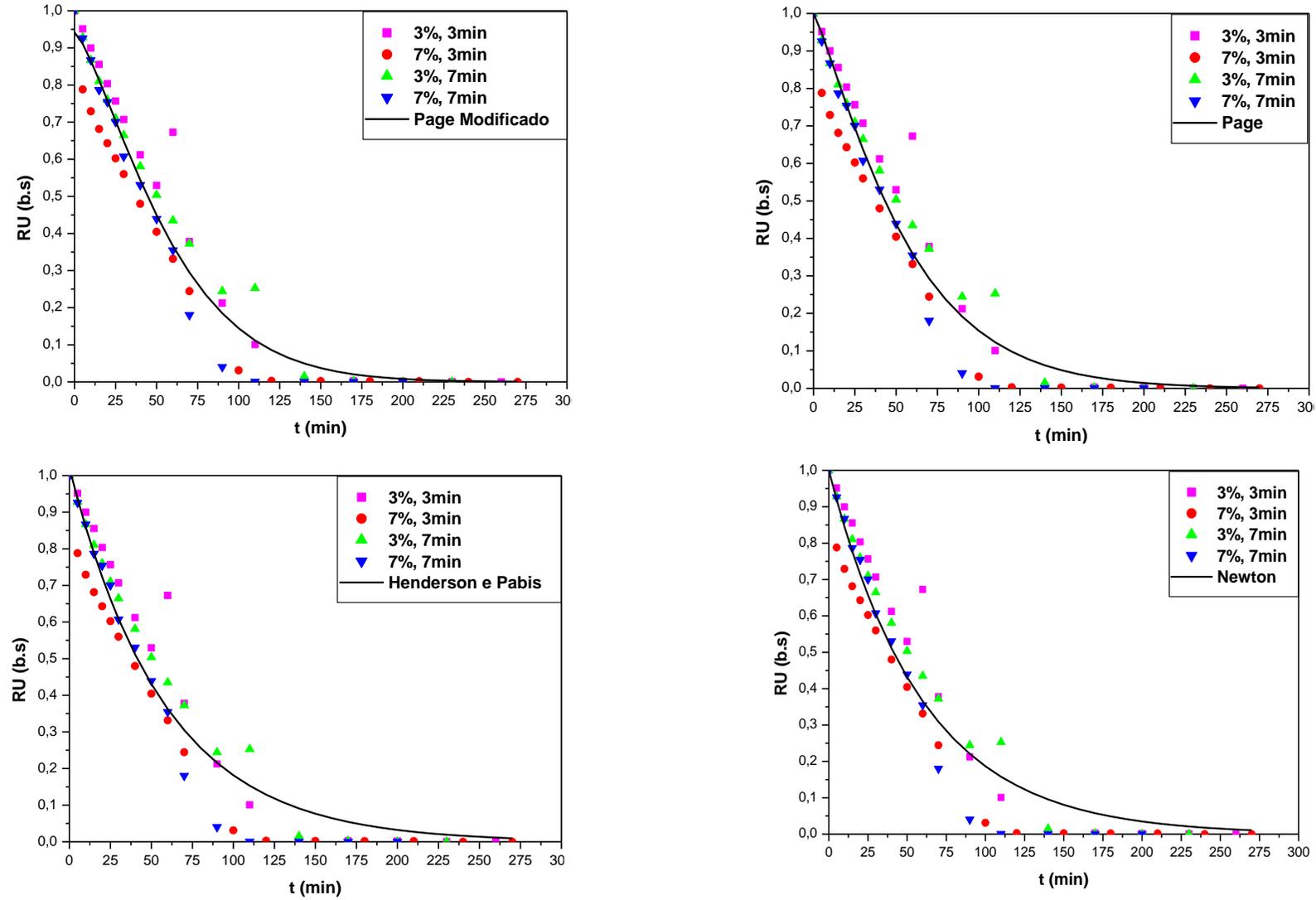


Figura 27 – Ajuste modelo de Page, Page Modificado, Henderson e Pabis e Newton, respectivamente: 60 °C

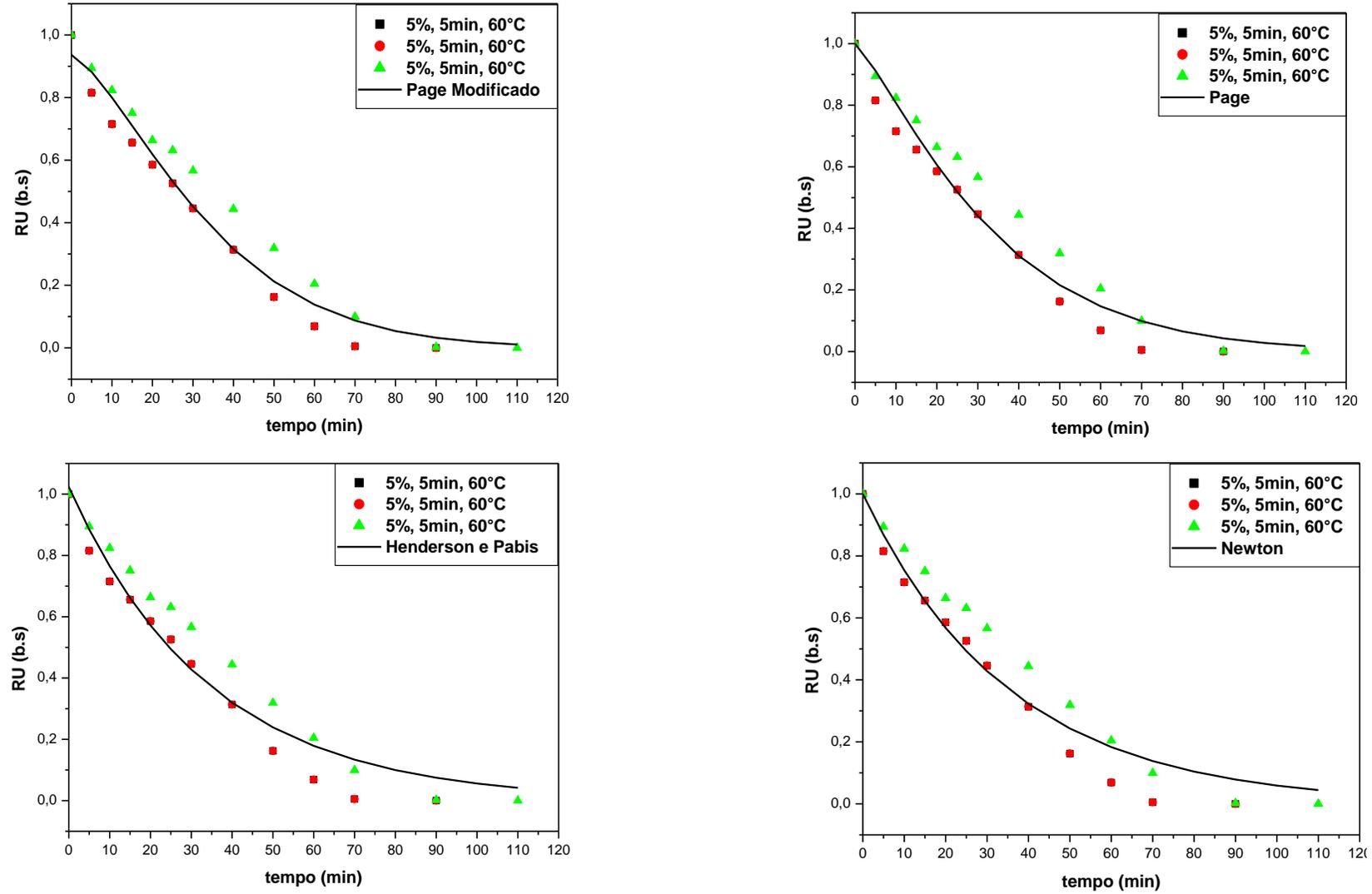
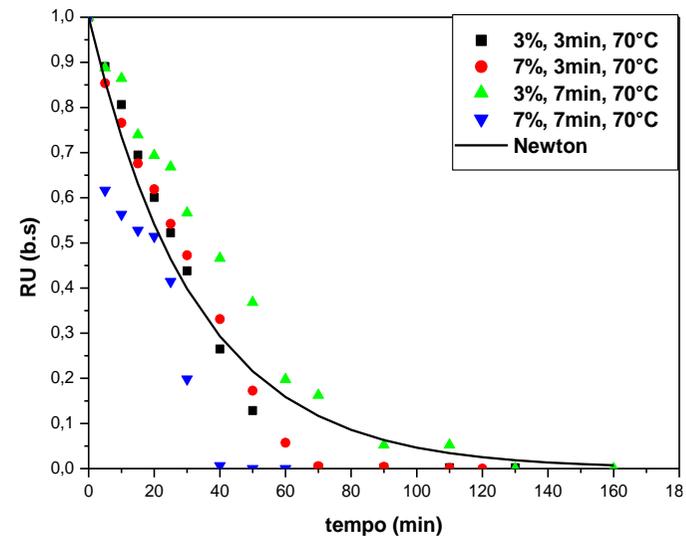
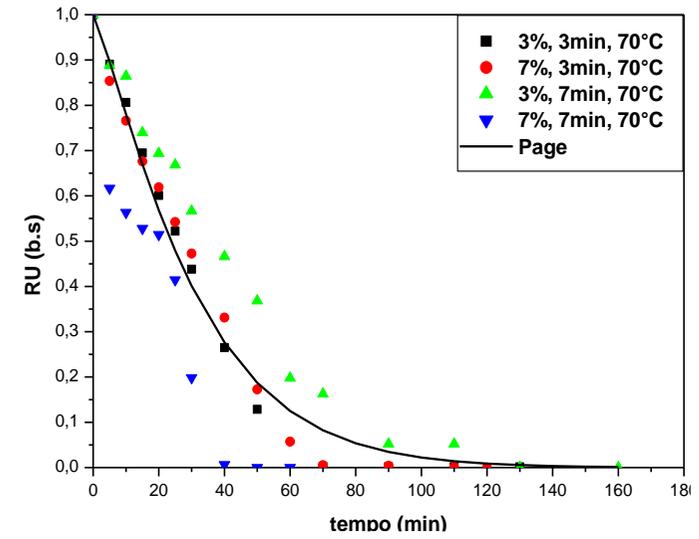
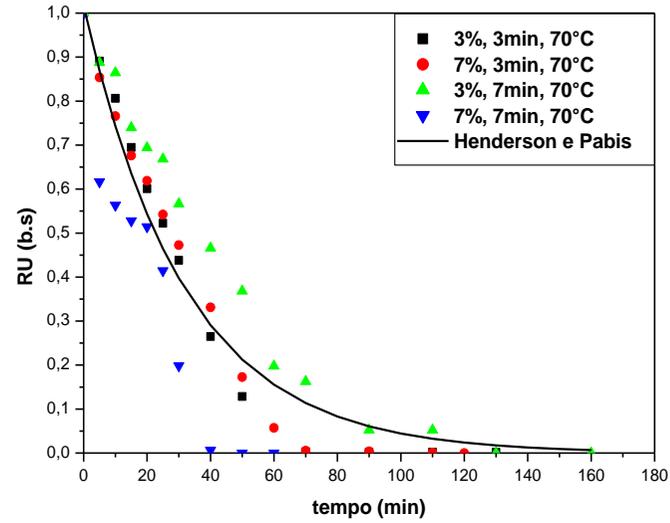
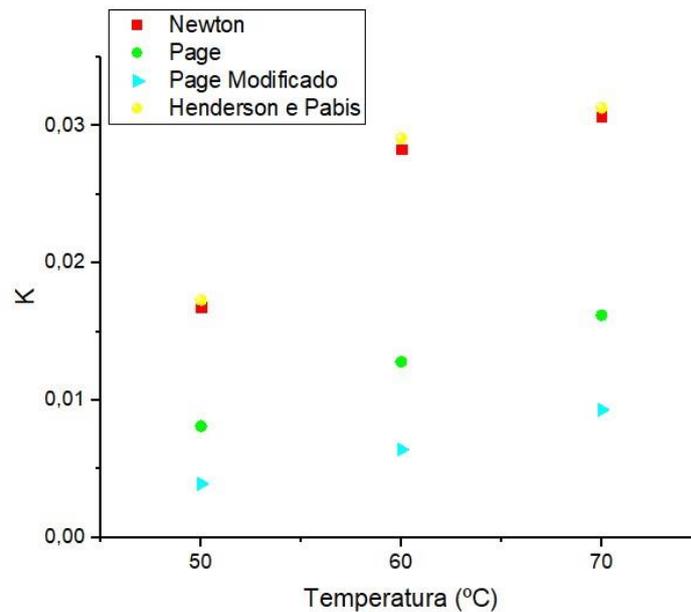


Figura 28 – Ajuste modelo de Henderson e Pabis, Page e Newton, respectivamente: 70 °C



O parâmetro k representa o efeito das condições de secagem externas. Foi observado na secagem em camada de espuma do mastruz que o valor da constante cinética de secagem (k) para os modelos estudados aumentou de acordo com a temperatura (Figura 29). Esse comportamento também foi observado por Sousa (2020) no estudo das curvas cinéticas de secagem de abacaxi e Diógenes (2018) na secagem da polpa de cumbeba.

Figura 29 – Comportamento do parâmetro k nas temperaturas dos experimentos

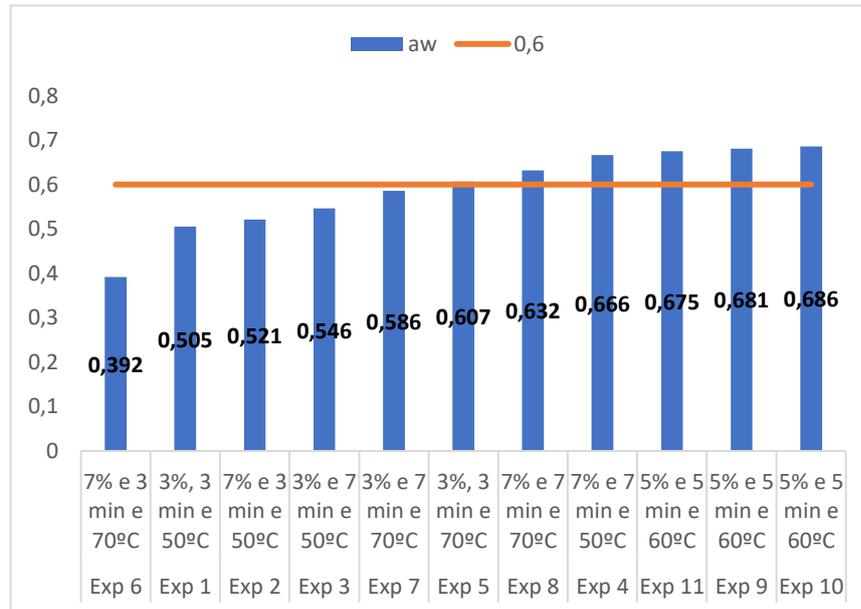


4.2.4 Atividade de água (A_w)

A atividade de água é um parâmetro de grande importância já que a partir dela é possível verificar a possibilidade do crescimento de bactérias, bolores e leveduras, além de reações enzimáticas. Seu valor varia de 0 a 1, onde altos valores de atividade de água (a_w) permitem uma maior suscetibilidade de deterioração dos alimentos e conseqüentemente, a diminuição da vida de prateleira do produto. (GURGEL *et al.*, 2019; OLIVEIRA, 2018;).

Na Figura 30 são apresentados os valores de atividade de água dos pós das folhas do mastruz, obtidos logo após a secagem em camada de espuma, para cada condição do planejamento fatorial completo.

Figura 30 – Atividade de Água do pó das folhas do mastruz em ordem crescente



Produtos com teor de atividade de água (aw) inferior a 0,6 apresentam uma maior dificuldade ao crescimento microbiano, a partir de 0,65, inicia a proliferação de microrganismos específicos, sendo que até 0,75, somente algumas bactérias halófitas, leveduras e fungos xerofílicos podem se desenvolver (OLIVEIRA, 2018).

Pelos valores observados na Figura 30 foi observado que a atividade de água do pó do mastruz para algumas condições do planejamento experimental apresenta valores na faixa de proliferação de micro-organismos.

E também foi observado que o melhor resultado foi obtido no experimento 7, que possui a concentração mínima de emulsificante, tempo mediano de secagem (160 minutos) e temperatura máxima (70 °C), tendo como 0,392 o valor da sua atividade de água.

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que o emulsificante Portogel® foi eficiente para o processo de secagem em camada de espuma, uma vez que em sua concentração mínima ainda produziu uma espuma estável.

As propriedades físico-químicas da espuma (densidade, pH, percentual de expansão, capacidade de incorporação do ar, estabilidade e teor de umidade) apresentaram valores com respaldo na literatura e na investigação de outros trabalhos.

As curvas de cinética de todos os experimentos realizados apresentaram longo períodos de taxa constante e curtos períodos de taxa decrescente

Pela análise estatística observou-se que a temperatura do processo influenciou no tempo final de secagem. Quanto maior a temperatura, menor foi o tempo de secagem, onde o experimento que obteve o menor tempo de secagem foi o experimento 8 (7%, 7 min, 70 °C) com as condições máximas do planejamento.

Em todas as temperaturas (50, 60 e 70 °C) o modelo matemático de Page apresentou altos coeficientes de determinação (R^2) e menores erros padrões (SQ), evidenciando um bom ajuste ao agrupamento de dados da cinética de secagem em camada de espuma da folha do mastruz.

Diante das avaliações realizadas, as melhores condições para a fabricação em larga escala seriam as do experimento 7 (3%, 7 min, 70 °C), pois utiliza baixa concentração do agente espumante, apresentou um tempo de secagem mediano (110 minutos), e o valor de atividade de água (a_w) inferior a 0,6 o que minimiza as chances de contaminação microbológica e permite uma maior segurança de estocagem.

REFERÊNCIAS

- AKTAS, R. N.; TONTUL, I. Usability of soapwort and horse chestnut saponin extracts as foaming agents in foam mat drying of pomegranate juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 2, p. 786-793, 2021.
- ALBUQUERQUE, U. P.; PATIL, U.; MÁTHÉ, Á. **Medicinal and aromatic plants of South America: Brazil**. 498p. Springer, 2018.
- ALENCAR, N. L.; ARAÚJO, T. A. S.; AMORIM, E. L. C.; ALBUQUERQUE, U. P. The inclusion and selection of medicinal plants in traditional pharmacopoeias – evidence in support of the diversification hypothesis. **Economic Botany**, v. 64, n. 1, p. 68-79, 2010.
- ALMEIDA, M. Z. de. **Plantas Mediciniais**. 3ª ed. Salvador: EDUFBA, 221 p. 2011.
- ASOKAPANDIAN, S.; VENKATACHALAM, S.; SWAMY, G. J.; KUPPUSAMY, K. Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. **Journal of food process engineering**, v. 39, n. 6, p. 692-701, 2016.
- ASSIS, Y. S., MARTINS, G. M., CANUTO, M. F., SOUSA, S. D., COSTA, J. D.; MARTINS, B. L. Estudo da modelagem matemática da polpa de graviola mediante o processo *foam mat*. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 32038-32056, 2021.
- ASSIS, Y. S. M. S. **Estudo da modelagem matemática e propriedades termodinâmicas na secagem da polpa de graviola em leito de espuma**. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, 2017.
- ASSUNÇÃO, P. I. D. **Desenvolvimento tecnológico de extratos padronizados em ácido elágico das folhas de *Eugenia uniflora* L. (*Myrtaceae*)**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas a Produtos para Saúde) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis. 2016.
- AZEVEDO, E. **Guia de Plantas Mediciniais**. 1ª ed. Vegetal, 111 p. 2017.
- BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technology**. v.4, p. 1450-1458, 2011.
- BARRETO, I. M. A. **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2011.
- BATISTA, P. A.; NASCIMENTO, S. P.; BARROS, R. S.; SILVA, P.; CAVALCANTE, J. A. Estudo das isotermas de dessecamento das espumas da polpa do noni (*Morinda citrifolia* L.) **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 8, p. 55222-55239, 2020.
- BENKOVIĆ, M.; RADIĆ, K.; ČEPO, D. V.; JAŠKŪNAS, E.; JANUTIS, L.; MORKUNAITE, M.; SREČEC, S. Production of cocoa and carob-based drink powders by foam mat drying. **Journal of food process engineering**, v. 41, n. 6, p. e12825, 2018.
- BERK, Z. **Food Process Engineering and Technology**. 1ª ed. Academic Press, 622 p. 2008.

BLANCKAERT, I.; PAREDES-FLORES, M.; ESPINOSA-GARCÍA, F. J.; PIÑERO, D.; LIRA, R. Ethnobotanical, morphological, phytochemical and molecular evidence for the incipient domestication of Epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.: *chenopodiaceae*) in a semi-arid region of Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 59, n. 4, p. 557-573, 2011.

BORBA, H. R.; AMORIM, A. Ação anti-helmíntica de plantas XIV Avaliação da atividade de extratos aquosos de *Chenopodium ambrosioides* L. (Erva-de-Santa-Maria) em camundongos naturalmente infectados com *Syphacia obvelata* e *Aspiculuris tetraptera*. **Rev. Bras. Parasitol. Vet.**, v. 13, n. 4, p. 133-136, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Medicamentos fitoterápicos e plantas medicinais**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/medicamentos/fitoterapicos>> Acesso em: 24/01/2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Memento Fitoterápico da Farmacopeia Brasileira** – 1. ed/ Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/memento-fitoterapico/memento-fitoterapico.pdf/view>> Acesso em: 03/08/2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 886, de 20 de abril de 2010. Institui a Farmácia Viva no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS). Brasília, **Diário Oficial da União**, 20 abr 2010. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2010/prt0886_20_04_2010.html>. Acesso em: 20/07/2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **RENISUS – Relação Nacional de Plantas Mediciniais de Interesse ao SUS**. DAF/SCTIE/MS, 2009. Disponível em: <<http://portalquivos.saude.gov.br/images/pdf/2017/junho/06/renisus.pdf>> Acesso em: 18/04/2020.

BRASIL. Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do instituto adolfo lutz: Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4 ed. 1020 p. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria Interministerial nº 2.960, de 9 de dezembro de 2008. Aprova o Programa Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos e cria o Comitê Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos. Brasília: **Diário Oficial da União**, 9 dez. 2008. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2008/pri2960_09_12_2008.html>. Acesso em: 20/07/2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da diretoria colegiada - RDC nº 67, de 8 de outubro de 2007**. Dispõe sobre boas práticas de manipulação de preparações magistrais e oficinais para uso humano em farmácias, incluindo medicamento fitoterápico manipulado. Brasília: Diário Oficial da União, 8 out. 2007. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2007/rdc0067_08_10_2007.html> Acesso em: 09/10/2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. Política Nacional de Plantas Mediciniais e

Fitoterápicos / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006a. 60 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde) Programa Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/politica_nacional_fitoterapicos.pdf> Acesso em: 12/06/2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Política Nacional De Práticas Integrativas e Complementares no SUS**: atitude de ampliação de acesso / Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 92 p.: il. Disponível em: <<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/pnpic.pdf>>. Acesso em: 20/07/2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **A fitoterapia no SUS e o Programa de Pesquisa de Plantas Mediciniais da Central de Medicamentos**. Brasília, 2006c. 148 p. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/fitoterapia_no_sus.pdf> Acesso em: 12/10/2020

BRASIL. Ministério da saúde. Secretária de Vigilância Sanitária. Portaria nº 544 de 1998. Aprovar os Regulamentos Técnicos para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade, para refresco, refrigerante, preparado ou concentrado líquido para refresco ou refrigerante, preparado sólido para refresco, xarope e chá pronto para o consumo. Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 16 de novembro de 1998.

BULJAT, A. M.; JURINA, T.; TUŠEK, A. J.; VALINGER, D.; KLJUSURIĆ, J. G.; BENKOVIĆ, M. Applicability of foam mat drying process for production of instant cocoa powder enriched with lavender extract. **Food technology and biotechnology**, v. 57, n. 2, p. 159-170, 2019.

CALDAS, J. M. **Determinação dos parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) das folhas do mastruz (Chenopodium ambrosioides L.)**. 47f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

CALIXTO, J. B. Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytotherapeutic agents). **Brazilian Journal of medical and Biological research**, v. 33, n. 2, p. 179-189, 2000.

CAMARGO, M. T. L. A.; SCAVONE, O. Plantas usadas como anti-helmíntico na medicina popular. **Ciência & Trópico**, v. 6, n. 1, 1978.

CARNEIRO, H. C. F.; TONON, R. V.; GROSSO, C. R. F.; HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v. 115, p. 443–451, 2013.

CARVALHO, T. I. M.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; ALONSO, S. G.; GOMES, E.; SILVA, R.; GUTIÉRREZ, I. H.; LAGO-VANZELA, E. S. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, p. 32-42, 2017.

CASTELLANOS, J. R. G. Epazote (*Chenopodium ambrosioides*). Revisión a sus características morfológicas, actividad farmacológica, y biogénesis de su principal principio activo, ascaridol. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas**, v. 7, n. 1, p. 3-9, 2008.

CAVALCANTE, M. D.; BELISÁRIO, C. M.; OLIVEIRA, D. E.; MAIA, G. P. A. Quality of cagaita powder by foam layer drying method and different foamer agents. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3, p. 381-387, 2020

CHU, S. S.; HU, J. F.; LIU, Z. L. Composition of essential oil of Chinese *Chenopodium ambrosioides* and insecticidal activity against maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Pest Management Science**, v. 67, n. 6, p. 714-718, 2011.

COELHO, B. E. S.; TORRES, G.; NETO, A. G.; COELHO, C. L. Estudo da estabilidade da espuma da polpa de acerola para secagem pelo método foam-mat drying. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 7685, 2019.

COSTA, N. A.; SILVA, F. L. H. S.; CAVALCANTE, J. A.; SANTOS, S. F. M. Métodos dos Mínimos Quadrados com Aplicações em Engenharia. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2021.

CRUZ, P.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, J. L. Otimização do processo de secagem em leito de espuma de extrato de café. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 478-192, 5 dez. 2017.

CRUZ, W. F.; **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

DE CÓL, C. D.; TISCHER, B.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and antioxidant activity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 126, p. 23-31, 2021.

DE SANTAYANA, M. P.; BLANCO, E.; MORALES, R. Plants known as té in Spain: an ethno-pharmaco botanical review. **Journal of ethnopharmacology**, v. 98, n. 1-2, p. 1-19, 2005.

DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 135, p. 30-43, 2019.

DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying: Experimental and numerical investigation. **Powder technology**, v. 328, p. 470-484, 2018.

DIÓGENES, A. M. G. **Secagem da polpa de cumbeba**. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2018.

EGEA, M. B.; LOBATO, L. P. A desidratação osmótica como pré-tratamento para frutas e hortaliças. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 73, n. 4, p. 316-24, 2014.

EL-SALAM, E. A.; MOHAMMED, A.; HAMMAD, K. S. Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 4, p. 1449-1461, 2021.

ERBAY, Z.; ICIER, F. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 50, n. 5, p. 441-464, 2010.

FALCÃO, N. D.; MORAES, F. C. Estudo do potencial da *chenopodium ambrosioides* L. (erva-de-Santa-Maria) e seu uso popular como antihelmíntico. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da Fait**, Itapeva, v. 15, n. 2, p. 1-13, 2020.

FANK-DE-CARVALHO, S. M.; MARCHIORETTO, M. S.; BÁO, S. N. Anatomia foliar, morfologia e aspectos ecológicos das espécies da família *Amaranthaceae* da Reserva Particular do Patrimônio Natural Cara Preta, em Alto Paraíso, GO, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 77-86, 2010.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. 4^a ed. Woodhead Publishing/Elsevier, 1226 p. v. 1. 2016.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: principles and practice**. 3^a ed. Elsevier, 2009.

FENG, Y; XU, B.; YAGOUB, A. E. A.; MA, H.; SUN, Y.; XU, X.; YU, X.; ZHOU, C. Role of drying techniques on physical, rehydration, flavor, bioactive compounds and antioxidant characteristics of garlic. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128404, 2021.

FERREIRA, T. M. S.; SANTOS, J. A.; MODESTO, L. A.; SOUZA, L. S.; SANTOS, M. P. V.; BEZERRA, D. G. S.; PAULA, J. A. M. An eco-friendly method for extraction and quantification of flavonoids in *Dysphania ambrosioides*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 29, n. 2, p. 266-270, 2019.

FERREIRA, M. N. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

FIGUEIREDO, R. C.; ROCHA, W. C.; FREITAS, A. Dantas Gonzaga de. Efeito Inseticida do Óleo Essencial e Extratos Etanólicos das Folhas de Mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) Sobre o Gorgulho do Milho (*Sitophilus zeamais* Mots). **Ensaio e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 22, n. 2, p. 80, 2019.

FIGUEIREDO, J. S. B.; SOUSA, C. F.; SOUSA, S.; MORAES, M. R. L.; MARTINS, G. M. V.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Cinética de secagem das polpas de maracujá e goiaba pelo processo foam mat. In: IV Encontro Nacional Da Agroindústria, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2018.

GANESAN, A. The impact of natural products upon modern drug discovery. **Current Opinion in Chemical Biology**, v. 12, n. 3, p. 306-317, 2008.

GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, 2017.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. 1^a ed. São Paulo: Nobel, 511 f. 2008.

GBOLADE, A. A.; TIRA-PICOS, V.; NOGUERIA, J. M. F. Chemical constituents of *Chenopodium ambrosioides* var. anthelminticum herb essential oil from Nigeria. **Chemistry of natural compounds**, v. 46, n. 4, p. 654-655, 2010.

GOMES, J. V. P.; OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, S. M. S.; CONCEIÇÃO, A. R.; C. ANUNCIÇÃO, P.; SOUZA, E. C. G.; PERRONE, Í. T.; S. JUNQUEIRA, M.; SANT'ANA, H. M. P.; LUCIA, C. M. D. Comparison of bioactive compounds and nutrient contents in whey protein concentrate admixture of turmeric extract produced by spray drying and foam mat drying. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128772, 2021.

GOMES, L. B. C.; ALMEIDA, E. M.; OLIVEIRA, S. N. Cinética de secagem em camada de espuma e caracterização física de acerola em pó. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 2, p. 178-184, 2017.

GOUVEIA, C. Q. **Secagem do jambo vermelho (*Syzygium malaccense*) em camada de espuma (foam-mat drying)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

GRANDI, T. S. M. **Tratado das Plantas Medicinais: Mineiras, Nativas e Cultivadas**. 1ª ed. Belo Horizonte: Adaequatio Estúdio, 1204 p. 2014.

GUAZI, J. S.; LAGO-VANZELA, E. S.; CONTI-SILVA, A. C. Development of smoothies from dehydrated products of strawberry and banana pulps obtained through foam-mat drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 1, p. 54-61, 2019.

GUPTA, S. V.; PATIL, B. N. Convective drying of osmo-dehydrated sapota slice. **International Journal of Agricultural and Food Science**, v. 5, p. 219-226, 2014.

GURGEL, C. E. M. R. **Produção de pó de banana verde e madura através da secagem em camada de espuma: otimização das condições de processo e avaliação do produto**. 121f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

HAMZEH, S.; MOTAMEDZADEGAN, A.; SHAHIDI, S.; AHMADI, M.; REGENSTEIN, J. M. Effects of drying condition on physico-chemical properties of foam-mat dried shrimp powder. **Journal of Aquatic Food Product Technology**, v. 28, n. 7, p. 794-805, 2019.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Functional characteristics and microbiological viability of foam-mat dried Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) yogurt from reconstituted Bambara groundnut milk powder. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 10, p. 5238-5248, 2020.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560-2572, 2015.

HELDMAN, D. R. **Food Preservation Process Design**. 1ª ed. Academic Press, 356 p. 2011.

HEWIS, L. G.; DAELI, G. B. C.; TANOTO, K.; CARLOS, C.; SAHAMASTUTI, A. A. T. A Review of Botany, Phytochemical, and Pharmacological Effects of *Dysphania ambrosioides*. **Indonesian Journal of Life Sciences**. v. 2, n. 2, p. 70-82, 2020.

INDAH, N.; ZANAL; GANESA, D. Comparison of freeze drying and foam mat drying effects on characteristics of inulin from gembili (*Dioscorea esculenta*) **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. p. 012046. 2020.

IBARZ, A.; BARBOSA-CANOVAS, G. V. **Unit Operations in Food Engineering: (Food Preservation Technology)**. 1^a ed. CRC Press, 884 p. 2002.

INYANG, U. E.; OBOH, I. O.; ETUK, B. R. Kinetic Models for Drying Techniques - Food Materials. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 08, n. 02, p. 27-48, 2018.

IZADI, Z.; MOHEBBI, M.; SHAHIDI, F.; VARIDI, M.; SALAHI, M. R.; Cheese powder production and characterization: a foam-mat drying approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 123, p. 225-237, 2020.

JAFARI, S. M.; GHANBARI, V.; GANJE, M.; DEHNAD, D. Modeling the Drying Kinetics of Green Bell Pepper in a Heat Pump Assisted Fluidized Bed Dryer. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 2, p. 98-108, 2016.

JAMSHIDI-KIA, F.; LORIGOOINI, Z.; AMINI-KHOEI, H. Medicinal plants: past history and future perspective. **Journal of Herbmmed Pharmacology**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2018.

JARDIM, C. M.; JHAM, G. N.; DHINGRA, O. D.; FREIRE, M. M. Composition and Antifungal Activity of the Essential Oil of the Brazilian *Chenopodium ambrosioides* L. **Journal of Chemical Ecology**, v. 34, n. 9, p. 1213-1218, 2008.

JAVED, I. M.; ABBAS, A.; RAFIQUE, H.; NAWAZ, F.; RASOOL, A. *et al.* A review paper on foam-mat drying of fruits and vegetables to develop powders. **MOJ food process technol**, v. 6, n. 6, p. 465-467, 2018.

JESUS, R.S.; PIANA, M.; FREITAS, R. B.; BRUM, T. F.; ALVES, C. F.S.; BELKE, B. V.; MOSSMANN, N. J.; CRUZ, R. C.; SANTOS, R. C. V.; DALMOLIN, T. V. In vitro antimicrobial and antimycobacterial activity and HPLC–DAD screening of phenolics from *Chenopodium ambrosioides* L. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 296-302, 2018.

KARIM, A. A.; WAI, C.C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, p. 337 - 343, 1999.

KADAM, D. M.; WILSON, R. A.; KAUR, S. Determination of biochemical properties of foam-mat dried mango powder. **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 8, p. 1626-1632, 2010.

KAUR, A.; KAUR, D.; OBEROI, D.P.S.; GILL, B.S.; SOGI, D.S. Effect of Dehydration on Physicochemical Properties of Mustard, Mint and Spinach. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 32, n. 1, p. 103-116, 2008.

KHAN, M. I. H.; KUMAR, C.; JOARDDER, M. U. H.; KARIM, M. A. Determination of appropriate effective diffusivity for different food materials. **Drying Technology**, v. 35, n. 3, p. 335-346, 2016.

KHAN, H. Medicinal plants in light of history: recognized therapeutic modality. **Journal of evidence-based complementary & alternative medicine**, v. 19, n. 3, p. 216-219, 2014.

KHODIFAD, B. C.; KUMAR, N. Foaming properties of custard apple pulp and mathematical modelling of foam mat drying. **Journal of food science and technology**, v. 57, n. 2, p. 526-536, 2020.

LAMEIRA, O. A.; PEREIRA, J. E. B. **Plantas Mediciniais: do Cultivo, Manipulação e uso à Recomendação**. v. 1. 264 p. 1ª ed. Belém: Embrapa, 2008.

LEITE, A. C. N. **Estudo da cinética de secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da hortelã-da-folha-miúda (*Mentha crispa*)**. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

LIMA, A. C. F. **Secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da folha do noni (*Morinda citrifolia* L.)**. 86f Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

LIMA, T. J. S.; LIMA, M. H. S.; FALCÃO, H. R. C. Saber popular e científico: uma análise dos benefícios e ação farmacológica do uso do chá de plantas medicinais em caxias-maranhão. **Anais V CONEDU...** Campina Grande: Realize Editora, 2018.

LOBO, F. A.; NASCIMENTO, M. A.; DOMINGUES, J. R.; FALCÃO, D. Q.; HERNANZ, D.; HEREDIA, F. J.; ARAUJO, K. G. L. Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food chemistry**, v. 221, p. 258-266, 2017.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas Mediciniais no Brasil. Nativas e Exóticas**. 2ª ed. São Paulo: Instituto Plantarum. 576 p. 2008.

MACEDO, L. L.; CORRÊA, J. L. G.; ARAÚJO, C. S.; VIMERCATI, W. C.; PIO, L. A. S. Process optimization and ethanol use for obtaining white and red dragon fruit powder by foam mat drying. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 2, p. 426-433, 2021.

MACIEL, R. M. G. **Obtenção do pó da polpa de goiaba pelo método de camada de espuma**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

MAIA, L. M. **Avaliação do efeito do extrato aquoso de *Chenopodium ambrosioides* L. no controle de *Meloidogyne* spp. em tomateiro e estudo do ciclo de vida e de hospedeiros de *M. konaensis***. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MANGUEIRA, E. R. **Estudo da secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do ovo de pata**. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MAQBOOL, M.; DAR, M. A.; GANI, I.; MIR, S. A. Herbal medicines as an alternative source of therapy: a review. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 8, n. 2, p. 374-380, 2019.

MARINS, A. K.; VIEIRA, D. F.; QUADROS, I. P. S.; PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T.; COSTA, A. V. **Prospecção fotoquímica das Partes Aéreas da erva-de-santa-maria**

(*Chenopodium ambrosioides* L). 15º Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 6º Encontro Latino Americano de Pós Graduação, São José dos Campos, 2011.

MARMITT, D. J.; REMPEL, C.; GOETTERT, M. I.; SILVA, A. C. Plantas Medicinais da RENISUS com potencial anti-inflamatório: revisão sistemática em três bases de dados científicas. **Revista Fitos**, v. 9, n. 2, p. 129-144, 2015.

MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. **Food Process Design**. 1ª. ed. Marcel Dekker, 516 p. 2003.

MARQUES, G. M. R. **Secagem do caldo de cana em leito de espuma e análise sensorial do produto**. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga – BA. 2009.

MARTINAZZO, A. P. **Secagem, armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf**. 156 f. Tese (Doutorado Curso de Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MARTINS, F. P.; BOSCH NETO, J. C.; SILVA, A. J. O.; SIQUEIRA, A. M. O. Secagem: uma revisão. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**, v. 6, n. 4, p. 0600-0607, 2020.

MATOS, J. A. L. **Potencial Biológico de *Chenopodium ambrosioides* L. (Erva-de-Santa-Maria)**. Porto, 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2011.

MONTANARI, C. A.; BOLZANI, V. S. Planejamento racional de fármacos baseado em produtos naturais. **Química Nova**, p. 105-111, 2001.

MONTEIRO, S. C.; BRANDELLI, C. L. C. **Farmacobotânica: Aspectos Teóricos e Aplicação**. 160 p. *E-book*. Porto Alegre: Artmed, 2017.

MONTEIRO, J. M; RAMOS, M. A.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of medicinal plants knowledge and commerce in an urban ecosystem. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 178, n. 1, p. 179-202, 2011.

MONZOTE, L.; MONTALVO, A. M.; SCULL, R.; ABREU, J. Activity, toxicity and analysis of resistance of essential oil from *Chenopodium ambrosioides* after intraperitoneal, oral and intralesional administration in BALB/c mice infected with *Leishmania amazonensis*: a preliminary study. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 61, n. 2-3, p. 148-153, 2007.

MOSES, J. A.; NORTON, T.; ALAGUSUNDARAM, K.; TIWARI, B. K. Novel Drying Techniques for the Food Industry. **Food Engineering Reviews**, v. 6, n. 3, p. 43-55, 2014.

NAPOLI, M. The plants, rituals and spells that cured helminthiasis in Sicily. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 4, n. 1, p. 1-19, 2008.

NETA, F. B. O.; SILVA, M. G.; MEDEIROS, A. C. DE; MARACAJA, P. B.; ARAUJO, A. R. DE; SOUSA, P. E. C. DE; MELO, E. R. DE; LINHARES, R. S. As plantas medicinais no contexto agroindustrial. **Informativo Técnico do Semiárido**, v. 13, n. 1, p. 33-39, 2020.

NETO, E. N. R. **Secagem da polpa e casca do juá em camada de espuma (foam-mat drying)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

- NETO, A. A. C. **Desidratação de cuxá em leito de espuma – avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto em pó.** 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2017.
- NETO, V. F. P.; RIBEIRO, R. M.; MORAIS, C. S.; CAMPOS, M. B.; VIEIRA, D. A.; GUERRA, P. C.; ABREU-SILVA, A. L.; SILVA JUNIOR, J. R.; NASCIMENTO, F. R. F.; BORGES, M. O. R. *Chenopodium ambrosioides* as a bone graft substitute in rabbits radius fracture. **BMC complementary and alternative medicine**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2017.
- NG, M.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **Lwt**, v. 88, p. 80-86, 2018.
- NITSCH-VELÁSQUEZ, L. Bacterial Growth Stimulation and Antifungal Effects of The Essential-oil-less-extracts of The Food Spice *Dysphania ambrosioides*. p. 1-21 **BioRxiv**, 2020.
- NOBRE, R. S.; MARTINS, G. M. V.; ALBUQUERQUE, T. N.; VIEIRA, F. J. A; ANDRADE, M. J. C. Cinética de secagem de polpa de manga (*Mangifera indica L.*) em camada de espuma. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 11-19, 2019.
- NORONHA, M.; PAWAR, V.; PRAJAPATI, A.; SUBRAMANIAN, R. B. A literature review on traditional herbal medicines for malaria. **South African Journal of Botany**, v. 128, p. 292-303, 2020.
- NOUMI, E.; YOMI, A. Medicinal plants used for intestinal diseases in Mbalmayo Region, Central Province, Cameroon. **Fitoterapia**, v. 72, n. 3, p. 246-254, 2001.
- OLIVEIRA, B. F.; NEGREIROS, J. K.; BONFIM, K. S.; CAVALCANTE, J. A.; PINTO, M. F.; COSTA, N. A. Modelagem matemática da cinética de secagem em camada de espuma da folha da gravioleira (*Annona muricata linn*) e caracterização do pó obtido. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 1-27, 2020.
- OLIVEIRA, A. G. P. **Secagem da polpa de coco verde pelo método de camada de espuma.** 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019a.
- OLIVEIRA, W. E. S. **Determinação dos parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) das folhas da arruda (*Ruta graveolens L.*).** 63 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019b.
- OLIVEIRA, B. F. **Secagem da folha da graviola (*Annona muricata L.*) pelo método de camada de espuma (foam-mat drying).** 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- OLIVEIRA, R. F. **Estudo da secagem em camada de espuma do sangue bovino.** 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- OLIVEIRA, S. M.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Influence of Drying Processes and Pretreatments on Nutritional and Bioactive Characteristics of Dried Vegetables: a review. **Food Engineering Reviews**, v. 8, n. 2, p. 134-163, 2015.

OLIVEIRA, L. S. S.; FERREIRA, F. S.; BARROSO, A. M. Erva de Santa Maria (*Chenopodium ambrosioides* L.): aplicações clínicas e formas tóxicas - Revisão de literatura. **Jornal Brasileiro de Ciência Animal**, v. 7, n. 13, p. 464-499, 2014.

ONU. Relatório Mundial da Malária. **ONU NEWS**, 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/tags/relatorio-mundial-da-malaria>> Acesso em: 16/02/2021.

ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 15, n. 3, p. 599-618, 2016.

PALHARES, R. M.; DRUMMOND, M. G.; BRASIL, B. S. A. F.; COSENZA, G. P.; BRANDÃO, M. G. L.; OLIVEIRA, G. Medicinal Plants Recommended by the World Health Organization: dna barcode identification associated with chemical analyses guarantees their quality. **Plos One**, v. 10, n. 5, p. e0127866, 2015.

PAULA, R. R.; VIMERCATI, W. C.; ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; TEIXEIRA, L. J. Q.; SARAIVA, S. H. Drying kinetics and physicochemical properties of whey dried by foam mat drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 10, p. e14796, 2020.

PEDRO, C. M. S.; LEME, E.; FLORIANO, R. S.; ROSTELATO-FERREIRA, C. Entomotoxicity of *Dysphania ambrosioides* (Amaranthaceae) and *Coronopus didymus* (Brassicaceae) hydroalcoholic leaf extracts assessed in cockroach semi-isolated heart preparation. **Toxicology**, v. 15, p. 109-114, 2019.

PEREIRA, W. S.; SILVA, G. P.; VIGLIANO, M. V.; LEAL, N. R. F. A.; PINTO, F.; FERNANDES, D. C.; SANTOS, S. V. M.; MARTINO, T.; NASCIMENTO, J. R.; AZEVEDO, A. P. S. de Anti-arthritic properties of crude extract from *Chenopodium ambrosioides* L. leaves. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 70, n. 8, p. 1078-1091, 2018.

PEREIRA, T. S. **Estudo da secagem da clara de ovo em camada de espuma (foam-mat drying)**. 95f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2015.

PEREZ, L. G. *et al.* Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Teobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão- impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.

PETROVSKA, B. B. Historical review of medicinal plants usage. **Pharmacognosy Reviews**, v. 6, n. 11, p. 1-5, 2012.

PINHEIRO, W. S.; LIMA, A. C. F.; MOREIRA, M. F.; SILVA, P. B.; LEITE, A. C. N.; CAVALCANTE, J. A. Influência das variáveis tempo de agitação, espessura e temperatura na cinética de secagem de clara do ovo de capoeira em camada de espuma. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60642-60646, 2020.

PINTO, M. R. M. R.; PAULA, D. A.; ALVES, A. I.; RODRIGUES, M. Z.; VIEIRA, E. N. R.; FONTES, E. A. F.; RAMOS, A. M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (O/W) and foam-mat drying. **Powder technology**, v. 339, p. 939-946, 2018.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1667-1676, 2019.

QUINLAN, M. B.; QUINLAN, R. J.; NOLAN, J. M. Ethnophysiology and herbal treatments of intestinal worms in Dominica, West Indies. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 80, n. 1, p. 75-83, 2002.

RAMOS, U. F.; SOLEDADE, S. C.; BAPTISTA, E. R. Utilização de plantas medicinais pela comunidade atendida no programa saúde da família da Pirajá, Belém, PA. **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 23, n. 5/6, p. 10-18, 2013.

RAMZAN, I. **Phytotherapies: Efficacy, Safety, and Regulation**. 1^a ed.: Wiley, 651 p. v. 1. 2015.

RESENDE, K. K. O.; SILVA, S. S.; GUEDEZ, S. F.; LOSS, R. A. Cinética de secagem e avaliação físico-química de fruta-pão (*Artocarpus altilis*) variedade seminífera. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 74-81, 2019.

RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. C.; COSTA, L. M.; JÚNIOR, W. N. F. Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 1, p. 103-109, 2018.

RIBEIRO, A.; ROMEIRAS, M. M.; TAVARES, J.; FARIA, T. M. Ethnobotanical survey in Canhane village, district of Massingir, Mozambique: medicinal plants and traditional knowledge. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2010.

RIOS, C. E. P.; ABREU, A. G.; BRAGA FILHO, J. A. F.; NASCIMENTO, J. R.; GUERRA, R. N. M.; AMARAL, F. M. M.; MACIEL, M. C. G.; NASCIMENTO, F. R. F. *Chenopodium ambrosioides* L. improves phagocytic activity and decreases bacterial growth and the systemic inflammatory response in sepsis induced by cecal ligation and puncture. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 148, 2017.

RODRIGUES, J. G. M.; ALBUQUERQUE, P. S. V.; NASCIMENTO, J. R.; CAMPOS, J. A. V.; GODINHO, A. S. S.; ARAÚJO, S. J.; BRITO, J. M.; JESUS, C. M.; MIRANDA, G. S.; REZENDE, M. C. The immunomodulatory activity of *Chenopodium ambrosioides* reduces the parasite burden and hepatic granulomatous inflammation in *Schistosoma mansoni* infection. **Journal Of Ethnopharmacology**, v. 264, p. 113287, 2021.

ROMÃO, T. D. **Secagem em camada de espuma (foam-mat drying) das folhas de arruda (*Ruta graveolens* L.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

RUFFA, M. J. *et al.* Cytotoxic effect of Argentine medicinal plant extracts on human hepatocellular carcinoma cell line. **Journal of Ethnopharmacology**, v.79, p.335-339, 2002.

SÁ, R. D. **Estudo farmacognóstico de *Chenopodium Ambrosioides* L. (*Chenopodiaceae*)**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SÁ, R. D.; SOARES, L. A. L.; RANDAU, K. P. Óleo essencial de *Chenopodium ambrosioides* L.: estado da arte. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 36, n. 2, 2015.

SAHIN, C. C.; ERBAY, Z.; KOCA, N. The physical, microstructural, chemical and sensorial properties of spray dried full-fat white cheese powders stored in different multilayer packages. **Journal of Food Engineering**, v. 229, p. 57-64, 2018.

SALIMENA, J. P.; MONTEIRO, F. P.; SOUZA, P. E.; SOUZA, J. Extraction of essential oil from inflorescences of *Dysphania ambrosioides* and its activity against *Botrytis cinerea*. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 39, p. 1006-1012, 2015.

SAMYOR, D.; DEKA, S. C.; BARAN, A. Physicochemical and phytochemical properties of foam mat dried passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) powder and comparison with fruit pulp. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 2, p. 787-796, 2021.

SANGAMITHRA, A.; VENKATACHALAM, S.; JOHN, S. G.; KUPPUSWAMY, K. Foam Mat Drying of Food Materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 3165-3174, 2014.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **LWT-Food Science and Technology**, v. 37, n. 5, p. 517-525, 2004.

SANTOS, D. C.; COSTA, T. N.; FRANCO, F. B.; CASTRO, R. C.; FERREIRA, J. P. L.; SOUZA, M. A. S.; SANTOS, J. C. P. Cinética de secagem e propriedades termodinâmicas da polpa de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

SANTOS, R. L.; GUIMARÃES, G. P.; NOBRE, M. S. C.; PORTELA, A. S. Análise sobre a fitoterapia como prática integrativa no Sistema Único de Saúde. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 4, p. 486-491, 2011.

SEVERO, L. S. **Obtenção de polpa de banana em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SHAH, S. M.; AYAZ, M.; KHAN, A.; ULLAH, F.; FARHAN; SHAH, A. A.; IQBAL, H.; HUSSAIN, S. 1,1-Diphenyl,2-picrylhydrazyl free radical scavenging, bactericidal, fungicidal and leishmanicidal properties of *Teucrium stocksianum*. **Toxicology and Industrial Health**, v. 31, n. 11, p. 1037-1043, 2013.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to Food Engineering**. 4ª ed. Academic Press, 864 p. 2008.

SILVA, P. B. **Secagem da folha da amoreira negra (*Morus nigra*) pelo método de camada de espuma (foam mat drying)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

SILVA, F. M. A.; SILVA, K. P. A.; OLIVEIRA, L. P. M.; COSTA, E. V.; KOOLEN, H. H. F.; PINHEIRO, M. L. B.; SOUZA, A. Q. L.; SOUZA, A. D. L. Flavonoid glycosides and their putative human metabolites as potential inhibitors of the SARS-CoV-2 main protease (Mpro) and RNA-dependent RNA polymerase (RdRp). **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 115, p. 1-8, 2020.

SILVA, Q. C. G. **Secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da folha da couve manteiga (*Brassica oleracea* L.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020a.

SILVA, P. A. **Secagem da folha de guajiru (*Chrysobalanus icaco* L) pelo método de camada de espuma (foam-mat drying)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020b.

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of 'Cabacinha' pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; GAMA, F. J. A.; GOMES, J. P. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. **Journal of The Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 67-74, 2014.

SILVA, B. A. **Estudo da estabilidade da espuma da polpa de goiaba (*Psidium Guajaba* L.): efeito do uso de estabilizante**. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SIMÕES, C. M. O.; MENTZ, L.A.; SCHENKEL, E.P.; IRGANG, B.E.; STEHMANN, J.R. **Plantas da Medicina Popular no Rio Grande do Sul**. 3ª ed. Porto Alegre: UFRGS, p. 9-20, 1989.

SIMÕES, T. B. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam mat drying) das folhas do mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.)**. 90f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

SIQUEIRA, S.; COELHO, I. **Pesquisa investiga o potencial do mastruz como fitomedicamento para uso contra a Covid-19**. 2020. Equipe Ascom Ufam. Disponível em: <https://ufam.edu.br/noticias-destaque/1497-pesquisa-investiga-o-potencial-do-mastruz-como-fitomedicamento-para-uso-contr-a-covid-19.html>. Acesso em: 14/01/2021.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de aração-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leito de espuma**. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

SOARES, M. H.; DIAS, H. J.; VIEIRA, T. M.; SOUZA, M. G. M.; CRUZ, A. F. F.; BADOCCO, F. R.; NICOLELLA, H. D.; CUNHA, W. R.; GROppo, M.; MARTINS, C. H. G. Chemical composition, antibacterial, schistosomicidal, and cytotoxic activities of the essential oil of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants (*Chenopodiaceae*). **Chemistry & biodiversity**, v. 14, n. 8, p. e1700149, 2017.

SOUSA, C. F.; SOUSA, S.; FIGUEIREDO, J. S. B.; MORAES, M. R. L.; CARVALHO, I. P. P. S.; CHAVES, F. J. F.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, G. N. Cinética de secagem em camada de espuma de polpa de maracujá, utilizando diferentes aditivos. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 9, p. 70821-70829, 2020.

SOUSA, C. F. **Estudo das curvas cinéticas de secagem de abacaxi**. Relatório de Estágio Supervisionado (Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

SOUZA, J. B. P. **Secagem em camada de espuma das folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.)** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

SOUZA, E. S.; GOMES, F. D. C.; ALMEIDA, M. M.; VIEIRA, F. F.; LUIZ, M. R.; SANTIAGO, A. M.; SOUZA, N. C.; ARAÚJO, H. W. C. Estudo da estabilidade da espuma da polpa do umbu (*spondias tuberosa* L.) para secagem pelo método foam-mat. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 60117-60127, 2020.

SOUZA, V. C. **Efeito da liofilização e desidratação em leite de espuma sobre a qualidade do pó de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)**. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinha, 2011.

STASI, L. C. D.; HIRUMA-LIMA, C. A. **Plantas Medicinais na Amazônia e na Mata Atlântica**. 2ª ed. rev. São Paulo. UNESP DIGITAL. 608 p. 2003

TAUCHEN, J.; HUML, L.; BORTL, L.; DOSKOCIL, I.; JAROSOVA, V.; MARIK, P.; FRANKOVA, A.; PERALTA, Z. M. C.; ZANS, M. H. C.; HAVLIK, J. Screening of medicinal plants traditionally used in Peruvian Amazon for in vitro antioxidant and anticancer potential. **Natural product research**, v. 33, n. 18, p. 2718-2721, 2019.

TAVARES, M. A. G. C. **Bioatividade da Erva-de-Santa-Maria, *Chenopodium ambrosioides* L. (*Chenopodiaceae*), em relação a *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (*Col.: Curculionidae*)**. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

THIRUMURUGAN, D.; CHOLARAJAN, A.; RAJA, S. S. S.; VIJAYAKUMAR, R. An Introductory Chapter: Secondary Metabolites. **Secondary Metabolites - Sources and Applications**, v. 1, n. 2, p. 3-21, 2018.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; KUNWISAWA, J.; SOPONRONNARIT, S. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 6, p. 1502-1510, 2011.

TILBURT, J.; KAPTCHUK, T. J. Herbal medicine research and global health: an ethical analysis. **Bulletin of The World Health Organization**, v. 86, n. 8, p. 594-599, 2008.

TRIVELLATO, L. G.; MALHEIROS, A.; MEYRE-SILVA, C.; BUSS, Z. S.; MONGUILHOTT, E. D.; FRÖDE, T. S.; SILVA, K. A. B. S.; SOUZA, M. M. From popular use to pharmacological validation: a study of the anti-inflammatory, anti-nociceptive and healing effects of *Chenopodium ambrosioides* extract. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 145, n. 1, p. 127-138, 2013.

TÜTÜNCÜ, M. Ahmet; LABUZA, T. P. Effect of geometry on the effective moisture transfer diffusion coefficient. **Journal of Food Engineering**, v. 30, n. 3-4, p. 433-447, 1996.

VAGENAS, G. K.; MARINOS-KOURIS, D. The design and optimization of an industrial dryer for sultana raisins. **Drying Technology**, v. 9, n. 2, p. 439-461, 1991.

VASCONCELOS, L. F. S. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2027.

VEIGA JUNIOR, V. F. V.; PINTO, A. C.; MACIEL, M. A. M. Plantas medicinais: cura segura? **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 519-528, 2005.

VILLALOBOS-DELGADO, L. H.; GONZÁLEZ-MONDRAGÓN, E. G.; GOVEA, A. Y. S.; ANDRADE, J. R.; SANTIAGO-CASTRO, J. Tenoch. Potential application of epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) as natural antioxidant in raw ground pork. **Lwt**, v. 84, p. 306-313, 2017.

VITA, G. F. **Eficácia dos princípios ativos da planta medicinal *Chenopodium ambrosioides* Linnaeus, 1786 (Erva-de-Santa-Maria), no controle de endoparasitos de *Gallus gallus* (Galinha Caipira) e *Coturnix japonica* (Codorna Japonesa)**. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2013.

YUAN, H.; MA, Q.; YE, L.; PIAO, G. The Traditional Medicine and Modern Medicine from Natural Products. **Molecules**, v. 21, n. 5, p. 559-577, 2016.

YUN, M.; PUSPASARI, I.; TASIRIN, M.; TALIB, M.; DAUD, W.; YAAKOB, Z. Drying of oil palm frond particles in a fluidized bed dryer with inert medium. **Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly/CICEQ**, v. 19, n. 4, p. 593-603, 2013.

ZEFZOUFI, M.; SMAILI, A.; FDIL, R.; RIFAI, L. A.; FAIZE, L.; KOUSSA, T.; MAKROUM, K.; ALI, A. B.; TABYAOU, M.; MOUZDAHIR, A. Composition of essential oil of Moroccan *Dysphania ambrosioides* and its antimicrobial activity against bacterial and fungal phytopathogens. **Journal of Plant Pathology**, v. 102, n. 1, p. 47-58, 2019.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.

ZOHRA, T.; OVAIS, M.; KHALIL, A. T.; QASIM, M.; AYAZ, M. Extraction optimization, total phenolic, flavonoid contents, HPLC-DAD analysis and diverse pharmacological evaluations of *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants. **Natural Product Research**, v. 33, n. 1, p. 136-142, 2018.

APÊNDICE A – Estimativa dos efeitos das variáveis para o tempo de secagem das folhas do mastruz.

	Efeito	Erro	p	Coefficiente	Erro Coeficiente
Média/Intersecção	147,27	14,9758759	0,000599611503	147,272727	14,9758759
(1) Tempo de agitação	-30	35,1215422	0,441145163	-15	17,5607711
(2) Concentração	-5	35,1215422	0,893676364	-2,5	17,5607711
(3) Temperatura	-120	35,1215422	0,0268613024	-60	17,5607711
1x2	-35	35,1215422	0,375389268	-17,5	17,5607711
1x3	-10	35,1215422	0,789987338	-5	17,5607711
2x3	-25	35,1215422	0,515893539	-12,5	17,5607711

APÊNDICE B – Dados da ANOVA realizada para a variável tempo de secagem.

Fontes de variação	Soma Quadrática (SQ)	Grau de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)	Teste F (F _{calculado})	Teste F (F _{tabelado})	Conclusão
Regressão	28800,00	1	28800,00	11,67	7,71	O modelo é significativo
Resíduo (erro)	9868,18	4	2467,05			
Total	44418,18	10				
R ²	0,77					