

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

JULIANA BARRETO PEREIRA DE SOUZA

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DAS FOLHAS DE ALECRIM
(Rosmarinus officinalis L.)

JOÃO PESSOA -PB
2021

JULIANA BARRETO PEREIRA DE SOUZA

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DAS FOLHAS DE ALECRIM
(Rosmarinus officinalis L.)

JOÃO PESSOA -PB
2021

JULIANA BARRETO PEREIRA DE SOUZA

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DAS FOLHAS DE ALECRIM (*Rosmarinus officinalis* L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientador(a): Josilene de Assis Cavalcante

Coorientador(a): Prof. Dr. Nagel Alves Costa

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729s Souza, Juliana Barreto Pereira de.

Secagem em camada de espuma das folhas de alecrim
(*Rosmarinus officinalis* L.) / Juliana Barreto Pereira
de Souza. - João Pessoa, 2021.

86 f. : il.

Orientação: Josilene de Assis Cavalcante.

Coorientador: Nagel Alves Costa.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Solubilidade. 2. Liofilização. 3. Citotoxicidade. 4.
Ajuste matemático. 5. Cinética de secagem. I.
Cavalcante, Josilene de Assis. II. Costa, Nagel Alves.
III. Título.

UFPB/BC

CDU 544.351.3

JULIANA BARRETO PEREIRA DE SOUZA

SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA DAS FOLHAS DE ALECRIM (*Rosmarinus officinalis* L.)

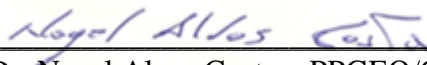
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovado em 29 de março de 2021.

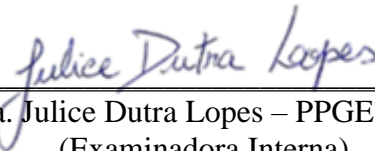
BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. Nagel Alves Costa – PPGEQ/CT/UFPB
(Coorientador)



Profa. Dra. Julice Dutra Lopes – PPGEQ/CT/UFPB
(Examinadora Interna)



Prof. Dr Osvaldo Soares da Silva (UAEALI/CTRN/UFCG)
(Examinador Externo)

Aos meus pais,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por concluir esse trabalho.

Agradeço aos meus pais, Márcia Cristina Souza e Manoel Roberto Souza, que incentivaram todos os anos que estive na universidade e não mediram esforços para eu realizar esse sonho. Assim como, à minha família pela compreensão da distância neste período de formação e a Peter Alcantara pela paciência e compreensão durante esta caminhada.

À Capes pelo programa de Pós-Graduação.

À Universidade Federal da Paraíba, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, para ser um profissional com ética e mérito.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química por todo auxílio prestado durante o decorrer do programa de mestrado.

À orientadora Prof^ª. Dr^ª. Josilene de Assis Cavalcante e ao coorientador Prof^º Dr. Nagel Alves Costa pelo suporte, pelas suas orientações, compartilhar seus conhecimentos e pelo incentivo, o meu muito obrigado.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr Osvaldo Soares da Silva (UAEAL/CTRN/UFCG) e Prof^ª. Dr^ª Julice Dutra Lopes pelo aceite e contribuições indispensáveis a este trabalho.

À Dr^ª. Nataly Albuquerque por todo suporte, auxílio, e por dividir o seu conhecimento.

Ao Dr. Marçal de Queiroz por todo suporte, auxílio e por dividir o seu conhecimento sobre plantas naturais, em específico sobre *Rosmarinus officinalis* L e análise de citotoxicidade.

Ao Laboratório de Combustíveis e Materiais no Centro de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal da Paraíba que auxiliou em análises técnicas complementares, pelo suporte necessário e por disponibilizar o local para as análises.

Ao Laboratório de Termodinâmica e Laboratório de Bioengenharia no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba e seus técnicos, e os colegas de laboratório e curso pelo auxílio no decorrer das análises desta pesquisa.

Aos amigos queridos que a Engenharia Química me proporcionou, que deram suporte e incentivo nesta caminhada e por todo aprendizado que compartilharam, fazendo parte diretamente da minha formação.

O mais competente não discute, domina a sua ciência e cala-se.
Voltaire

RESUMO

O alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) da variedade *Benenden Blue*, nativa da região do Mediterrâneo, se adaptou ao clima brasileiro e hoje pode ser encontrada em diversas partes do Brasil. É extremamente difundido na gastronomia e na cosmetologia devido a suas propriedades aromáticas e terapêuticas. Porém, como toda planta, o alecrim também pode se deteriorar rapidamente e uma das formas de viabilizar sua conservação é utilizar a secagem em camada de espuma que funciona com a remoção da água após o produto ser transformado em uma espuma estável, aumentando seu tempo de vida útil e inibindo o crescimento microbiano. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi obter o pó do alecrim através da secagem em camada de espuma. Para a formação da espuma foi utilizado como agente espumante, o pó da entrecasca do juá (*Ziziphus joazeiro*). O estudo seguiu o planejamento experimental fatorial completo de $2^3 + 3$ pontos centrais, totalizando 11 experimentos, sendo as variáveis independentes: concentração de agente espumante (4, 6, 8%), tempo de agitação (3, 5 e 7 minutos) e temperatura de secagem (50, 60 e 70 °C) com o intuito de verificar suas influências no tempo de secagem (variável dependente), e, em seguida, caracterizar os pós obtidos. As caracterizações físico-químicas do pó (rendimento, solubilidade, sólidos solúveis totais, acidez titulável total, pH, citotoxicidade e cinzas) foram comparadas aos estudos encontrados na literatura sobre outros tipos de folhas secas pelo processo de secagem em camada de espuma. Como resultados tem-se que o pó de alecrim apresenta baixa solubilidade em água, com melhor resultado de $22,06 \% \pm 0,01$, e valores de sólidos solúveis totais entre $16,3 \pm 0,9$ °Brix e $20,7 \pm 0,5$ °Brix. O pH obtido foi levemente ácido em todos os experimentos. O estudo citotológico realizado apontou a não toxicidade do pó de alecrim com juá abaixo de 500 ppm. A influência da adição do agente espumante foi analisada através da comparação com o pó liofilizado para as análises de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável total, cujo comparativo com os valores dos 11 experimentos não apresentou alterações significativas. Avaliando os dados experimentais das três temperaturas de secagem (50 °C, 60°C e 70 °C) concluiu-se que o modelo de ajuste matemático de Page foi o mais adequado à cinética de secagem em camada de espuma das folhas de alecrim com espumante juá. Logo, a melhor condição encontrada para a fabricação em larga escala foi do ponto máximo (8%, 7 min, 70 °C), pois apresentou a menor atividade de água (a_w), alto rendimento (média de 91,79%), baixo teor de umidade, segundo melhor tempo de secagem (90 minutos) e maior acidez, fatores determinantes para minimizar a proliferação microbiana e aumentar o tempo de prateleira.

PALAVRAS-CHAVE: Solubilidade. Liofilização. Citotoxicidade. Ajuste matemático. Cinética de secagem.

ABSTRACT

Rosemary (*Rosmarinus officinalis L.*), of the *Benenden Blue* variety, native to the Mediterranean region, has adapted in Brazil and today can be found in several parts. It is extremely widespread in gastronomy and cosmetology studies, because of aromatic and therapeutic properties. However, like any plant, rosemary can also deteriorate quickly and one of the ways to make the conservation possible is to use foam mat drying to removes the water after the transformation of the raw material into a stable foam, increasing the useful life and inhibiting microbial growth. Thus, the main purpose of this work was to obtain the rosemary powder through foam mat drying. The foam was form by juá (*Ziziphus joazeiro Mart*), natural foaming agent. The study followed the complete factorial experimental design of $2^3 + 3$ central points, 11 experiments, the independent variables being: concentration of foaming agent (4, 6, 8%), mix time (3, 5 and 7 minutes) and temperature drying time (50, 60 and 70 ° C) to verify its influence on drying time (dependent variable) and then characterize the powders. The physical-chemical characterizations of the powder (yield, solubility, total soluble solids, total titratable acid, pH, cytotoxicity and ashes) were compared to studies found in the literature on other types of dry leaves by the foam mat drying process and it was verified some disagreements As a result, it is concluded that the rosemary powder has low water solubility, with a better result of $22.06\% \pm 0.01$, and total soluble solids value between 16.3 ± 0.9 ° BRIX and 20.7 ± 0.5 ° BRIX. The pH remained constant in all experiments. The cytotoxicological study carried out pointed out the non-toxicity of rosemary powder with juá below 500 ppm. The influence of the addition of the foaming agent was analyzed through the lyophilized powder for the analysis of total soluble solids, pH and total titratable acidity, whose comparison with the values of the 11 experiments did not present significant changes. Evaluating the experimental data of the three drying temperatures (50 °C, 60 °C and 70 °C) it was concluded that the mathematical adjustment of Page's model was the most adequate to the drying kinetics in foam mat of rosemary leaves with juá. Therefore, the best condition found for large-scale manufacturing was the maximum point (8%, 7 min, 70 ° C), as it presented the lowest water activity (a_w), high yield (average of 91.79%), low moisture content, second best drying time (90 min) and greater acidity, determining factors to minimize microbiological proliferation and increase shelf life.

Key words: Solubility. Liofilization. Cytotoxicity. Mathematical model. Drying kinetics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivo específico.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Plantas medicinais.....	14
2.2 Alecrim.....	15
2.3 Secagem.....	17
2.3.1 Secagem em camada de espuma.....	19
2.3.2 Cinética de secagem.....	21
2.3.3 Modelos matemáticos.....	23
3 METODOLOGIA	25
3.1 Etapa 1: Obtenção e sanitização das folhas de alecrim e da entrecasca do Juá.....	26
3.2 Etapa 2: Preparo do suco das folhas de alecrim.....	26
3.3 Etapa 3: Testes com os emulsificantes.....	27
3.4 Etapa 4: Obtenção da espuma das folhas de alecrim e definição dos parâmetros experimentais.....	27
3.5 Etapa 5: Análises da espuma.....	29
Estabilidade da espuma.....	29
Densidade.....	29
Porcentual de expansão da espuma.....	30
Capacidade de incorporação do ar (<i>over run</i>).....	30
Potencial Hidrogeniônico (pH).....	30
Acidez Total Titulável (ATT).....	31
Teor de umidade.....	31
3.6 Etapa 6: Secagem das espumas do alecrim em camada de espuma e por liofilização.....	32
Liofilização.....	34
3.7 Etapa 7: Análises do pó das folhas de alecrim com Juá.....	35
Sólidos solúveis totais – SST (°Brix).....	35
Teor de cinzas.....	35

Rendimento teórico.....	36
Potencial Hidrogeniônico (pH).....	36
Atividade de água (a_w).....	36
Índice de solubilidade em água (ISA).....	37
Acidez Total Titulável (ATT).....	38
Teor de umidade.....	38
Citotoxicidade	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Preparo do suco das folhas de alecrim.....	41
4.2 Testes com os espumantes.....	41
4.3 Obtenção da espuma.....	42
4.4 Análise da espuma.....	42
4.4.1 Estabilidade térmica.....	42
4.4.2 Densidade.....	45
4.4.3 Porcentagem de expansão.....	47
4.4.4 Capacidade de incorporação de ar (<i>Over run</i>).....	49
4.4.5. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	50
4.4.6 Acidez Total Titulável (ATT).....	51
4.5 Cinética de secagem em camada de espuma.....	53
4.5.1 Ajustes matemáticos dos dados experimentais.....	59
4.6 Caracterização do pó.....	69
4.6.1. Análise física dos pós.....	69
4.6.2 Análises físico-químicas dos pós.....	71
4.6.3. Citotoxicidade.....	76
5 CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

Na linha da história, desde os povos da antiguidade passando pelos alquimistas da idade média até a era moderna, o homem tem usado plantas para o diagnóstico, profilaxia ou cura de doenças e mal-estar (SOUZA et al., 2016; MOURA et al, 2018). Este ensinamento foi acumulado através da sabedoria popular pela parte mais pobre da sociedade (AMARAL et al, 2016; MOURA et al, 2018).

Esse conhecimento é comprovado através de estudos e utilizado pela medicina para o auxílio do tratamento de diversas doenças (AMARAL et al, 2016; MOURA et al, 2018). O que ainda é muito discutido é a melhor forma de utilizar e aproveitar as propriedades terapêuticas de cada planta, pois cada composto é extraído em uma certa temperatura ou pode se degradar (MOURA et al, 2018). Para isso estudiosos vem comparando os efeitos do uso das plantas em chás (infusão ou decocção), cataplasmas (pasta medicamentosa tendo como base ervas e farinha ou argila), remédios, pomadas, xaropes (com ervas e açúcar ou mel), lambedores (suco da flor e açúcar), garrafada (ervas e álcool) e óleos para saber qual a melhor utilização de cada planta em cada caso (MACIEL e NETO, 2006; MOURA et al, 2018; MOTA et al., 2019).

O Brasil possui a maior biodiversidade vegetal do mundo mesmo com estudos apontando a possibilidade de serem poucas as espécies catalogadas e ainda menor as que servem de sustento para pesquisas de compostos bioativos e suas propriedades medicinais (MOTA et al., 2019). Por este motivo há necessidade de levantamentos fitoterápicos, pois muitas das espécies cultivadas em algumas propriedades não existem mais em seu *habitat* natural devido as ações antrópicas (MOTA et al., 2019)

Uma erva com compostos aromáticos com propriedades que combatem diversas doenças, entre elas os danos ocasionados pelo estresse oxidativo no organismo humano é o *Rosmarinus officinalis* L., popularmente conhecido como alecrim, pelas suas propriedades antioxidantes e curativas (AMARAL et al, 2016; OLIVEIRA e VEIGA, 2019).

Um problema encontrado pela indústria para utilizar produtos naturais é a sua rápida degradação e, conseqüentemente, pouco tempo de prateleira quando comparados aos produtos sintéticos (MORAES e RODRIGUES, 2006). Visando essa situação há uma demanda eminente para a procura de soluções para a logística de transporte e armazenamento, sem comprometer o custo e as propriedades da matéria-prima, sendo a secagem uma das operações unitárias mais utilizadas.

Esta técnica vem sendo constantemente estudada e aperfeiçoada para obtenção de produtos com maior qualidade, menor ou nenhuma perda de propriedades sensoriais e físico-químicas e menor tempo de processamento (MORAES e RODRIGUES, 2006).

A secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) veio como alternativa para obtenção de produtos com as mesmas propriedades do produto *in natura* e com baixos custos operacionais, se comparado a outras técnicas de secagem.

Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivos:

1.1 OBJETIVO GERAL

Obtenção do pó das folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) pelo método da secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) para futuros estudos na aplicação cosmética, alimentícia e medicinal.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os parâmetros operacionais para produção da espuma e da secagem das folhas do alecrim;
- Realizar a caracterização física, química e físico-químicos da matéria-prima;
- Realizar a caracterização física da espuma gerada em termos de densidade, expansão, capacidade de incorporação de ar e estabilidade;
- Realizar o estudo cinético da secagem do alecrim, baseado em planejamento fatorial completo: $2^3 + 3$ pontos centrais (totalizando 11 experimentos), variando os parâmetros de entrada: tempo de agitação, concentração do espumante e temperatura de secagem;
- Realizar o ajuste dos dados experimentais com modelos matemáticos;
- Realizar a caracterização física, físico-química e química do pó obtido;
- Fazer comparação dos pós obtidos em camada de espuma e pela liofilização;
- Realizar o teste de citotoxicidade com o pó da folha de alecrim com espumante juá;
- Realizar a análise estatística dos dados experimentais obtidos através do planejamento experimental fatorial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PLANTAS MEDICINAIS

A etnobotânica é um campo interdisciplinar que estuda as relações entre o homem e as plantas e a utilização das plantas, envolvendo a cultura local, o cultivo, manejo e forma de utilização (MOURA et al, 2018). Através desses levantamentos, é possível averiguar as potencialidades locais da flora e suas possíveis formas de uso, buscando o registro do uso dos recursos vegetais presentes e como empregá-las, contribuindo para o resgate do conhecimento e da medicina popular (MOURA et al, 2018).

Na cultura popular, a forma de preparo mais expressiva das plantas medicinais é o chá, infusão ou decocção, que corresponde a 60,4% das formas de preparo pois é mais barato, rápido e de fácil preparo e acesso, utilizando, em sua maioria, folhas e raízes. Estas duas correspondem a 32,6% e 21,2%, respectivamente, do uso, vindo em seguida a flor com 11% e a casca com 7,4%. As folhas são a parte mais utilizada em estudos etnobotânicos pois traz menos risco de extinção para a espécie vegetal, contribuindo para a sua conservação ambiental já que preserva sua capacidade regenerativa (SOUZA et al., 2016; MOTA et al., 2019).

É importante ter conhecimento sobre as funções de cada planta existente, sabendo as indicações, a parte utilizada, quais as quantidades necessárias para combater uma determinada enfermidade, analisando os princípios ativos, a eficácia, toxicidade, efeitos colaterais, possíveis interações, contraindicações através de ensaios farmacológicos e experimentação clínica, pois complementação do conhecimento popular e científico sobre a produção e o uso de plantas medicinais é fundamental para sua segurança e eficácia (MOURA et al, 2018).

Dados de 2017 revelam que 40% dos medicamentos alopáticos (medicamentos que produzem efeitos contrários aos da doença) são advindos de fontes naturais, chegando à 70% quando são relacionados com antitumorais e antibióticos (OLIVEIRA e VEIGA, 2019; IDEC, 2020).

Os microrganismos vêm apresentando resistência aos medicamentos comumente utilizados, podendo gerar uma resposta inesperada ao tratamento. Esta é uma razão para a busca de técnicas naturais garantindo maior efetividade e eficácia, como ocorre na utilização dos temperos que propiciam uma melhor conservação dos alimentos (OLIVEIRA e VEIGA, 2019).

Algumas plantas medicinais também são ervas condimentares (chamadas de especiarias ou temperos), consagrados pelas suas propriedades terapêuticas, além de serem utilizadas na culinária para substituir o uso excessivo de sal, que pode estar relacionado à diversos problemas de saúde (entre eles pressão alta, AVC (Acidente Vascular Cerebral) e insuficiência renal) (SILVA, 2018).

Para um produto ser chamado de especiaria, segundo a Resolução da Diretoria Colegiada n°. 276/2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, de ser constituído de partes (raízes, rizomas, bulbos, cascas, folhas, flores, frutos, sementes, talos) de uma ou mais espécies vegetais, tradicionalmente utilizadas para agregar sabor ou aroma aos alimentos e bebidas, diferentemente do termo tempero, que são os produtos obtidos da mistura de especiarias e de outro(s) ingrediente(s), fermentados ou não, empregados para agregar sabor ou aroma aos alimentos e bebidas (BRASIL, 2005).

2.2 ALECRIM

O alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) da variedade *Benenden Blue*, uma erva perene (mais de cinco ciclos sazonais), lenhosa na base, ereta e subarbusivo pouco ramificado (aproximadamente 1,5 m de altura) e aromático (SANTOS, 2017; MOURA et al., 2018; SILVA, 2018). Suas folhas são lineares, caricáceas, opostas, inteiras e possuem um forte aroma, com inflorescências terminal e axilar, entre 1,5 e 4 cm de comprimento e 1 a 3 mm de espessura, formando um tipo de cacho ou racemo, com pequenas flores, azul arroxeadas a esbranquiçadas, já o fruto é aquênio ovóide (SANTOS, 2017; SILVA, 2018).

Pode ser encontrada em todo o mundo, mas é nativa da região do Mediterrâneo (regiões quentes e secas do sul da Europa), utilizada desde a antiguidade pelos egípcios, mesopotâmicos, chineses e indianos como tempero, cosmético e tratamento de doenças (TOYAMA, 2017; MOURA et al., 2018). No Brasil, é encontrada principalmente no Nordeste por se desenvolver em ambiente seco, árido e pedregoso, podendo suportar a escassez de água (SANTOS, 2017).

Por ser uma planta aromática, suas folhas são utilizadas na culinária como tempero (sabor picante), na medicina e na cosmética (MOURA et al, 2018). Algumas das propriedades encontradas em suas folhas são: calmante (atuando no déficit cognitivo, depressão, distúrbios de humor, agitação e histeria), sedativo/analgésico muscular e articular, cardiotônico, para o tratamento de distúrbios menstruais, cólicas, aumenta a circulação sanguínea (auxiliando no tratamento de alguns

problemas capilares e aumenta o fluxo menstrual, sendo uma erva emenagoga), diurético, antirreumático, doenças gástricas, controla a pressão arterial, melhora os sintomas da gripe e resfriado, esgotamento físico e mental, hepatoprotetor, problemas renais, carminativo, antiespasmódico, antioxidante, antiinflamatório agudo (ação direta sobre mecanimos de infiltração, locomoção e adesão neutrofílica), antibactericida e fungicida (desinfetante), antimicrobiana, antitumoral (com pesquisas *in vitro* e *in vivo*), tratamento de doenças inflamatórias respiratórias (asma brônquica) (PORTE e GODOY, 2001; MCINTYRE, 2010; AMARAL, 2016; SANTOS, 2017; TOYAMA, 2017; MOURA et al., 2018; OLIVEIRA e VEIGA, 2019). Uma outra propriedade, ainda pouco estudada é o seu potencial redutor de peso, pois possui características responsáveis por diminuir o ganho de peso e proteger contra a esteatose hepática (AMARAL, 2016).

Suas propriedades antioxidante e antimicrobiana, junto com a característica aromática, pode ser utilizada em diversos setores industriais, entre eles farmacêutico, cosmético e alimentício, tornando-o uma planta cada vez mais estudada (SANTOS, 2017; MOURA, 2018; LEE et al, 2020).

O alecrim apresenta variação na proporção dos componentes, os constituintes são os mesmos, mas com proporções diferentes o que modifica sua estrutura química. Isso ocorre de acordo com o estado do vegetal, da origem (nutrientes do solo onde é cultivado) e tempo de colheita, determinando de qual quimiotipo a planta pertence (OLIVEIRA e VEIGA, 2019; AZAMBUJA, 2018).

Mesmo com essa variedade, as folhas de todos os quimiotipos de alecrim apresentam substâncias fenólicas, o que explica suas propriedades terapêuticas, e flavonoides como diosmina, diosmetina, genkwanina, luteolina, hispidulina e apigenina, além de três flavonóides hialurônicos, e os compostos α -pineno, β -mirceno, 1,8 cineole verbenona (Figura 1), que juntos correspondem a, aproximadamente, 75% da sua composição (SANTOS, 2017; TOYAMA, 2017; OLIVEIRA e VEIGA, 2019).

Figura 1 - Principais compostos presentes nas folhas do alecrim.



Fonte: SANTOS (2017).

Os terpenos são compostos ativos que atuam na inibição de microrganismos que desorganizam a estrutura da membrana plasmática de células (Santos, 2017). Já os compostos fenólicos (ácido carnósico, carnosol e rosmanol) presentes nesta erva conferem mais de 90% da sua ação antioxidante pois evitam o estresse oxidativo, pela capacidade de se misturarem com os radicais livres e eliminarem espécies reativas de oxigênio (AMARAL, 2016; SANTOS, 2017).

O alecrim não é uma planta considerada tóxica segundo estudos realizados em 2017 na dosagem de 500 mg a 1,5g do pó ao dia ou 0,3 a 1g diários divididos em 2 a 3 porções de extrato seco, e é liberada para consumo (OLIVEIRA e VEIGA, 2019).

Estudos apontam que o alecrim, um antioxidante natural, apresenta melhores resultados se comparado o butil-hidroxianisol (BHA), resultados semelhantes ao butil-hidróxi-tolueno (BHT), ambos antioxidantes sintéticos, e efeito sinérgico com o ácido cítrico e com o BHA (OLIVEIRA e VEIGA, 2019). Além disso, esta planta apresenta propriedades que reduzem a peroxidação lipídica e inibem a produção de espécies reativas de oxigênio, reduzindo inflamações, por causa da presença de compostos isoprenoides quinonas e diterpenos fenólicos (OLIVEIRA e VEIGA, 2019).

Estudos comprovaram a ação antimicrobiana em bactérias orais planctônicas predominantes no biofilme supragengival e a capacidade antioxidante do extrato hidroalcolico do alecrim (SILVA et al., 2007; OLIVEIRA e VEIGA, 2019). Por outro lado, há estudos contraditórios sobre o efeito antimicrobiano em relação ao tratamento de uma bactéria da acne (BARBOSA et al, 2017).

Não só as folhas apresentam propriedades terapêuticas, mas as sementes, flores e raízes também apresentam atividade antimicrobiana e fungicida, mostrando que o alecrim é uma planta extremamente versátil e que nenhuma parte é perdida (SANTOS, 2017).

2.3 SECAGEM

Em virtude da alta perecibilidade e da sazonalidade de algumas plantas com propriedades terapêuticas, são necessários processos que possam oferecer caminhos para sua conservação sem perder a qualidade nutricional e proporcionem a disponibilidade em qualquer época do ano (MORAES e RODRIGUES, 2006; SILVA, 2018).

Uma das tecnologias possíveis é a operação unitária de secagem (SILVA, 2018). Esta operação proporciona, através da remoção do líquido, maior vida útil ao produto e menor peso e volume, conseqüentemente, maior facilidade no transporte, armazenamento, manuseio e redução

de custo com embalagem por causa do menor volume, seja ele para consumo na forma direta, ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios, cosméticos ou farmacêuticos (MORAES e RODRIGUES, 2006; SILVA, 2018).

A secagem é um dos procedimentos mais importantes para a diminuição da atividade de água (a_w) de um produto (representa a disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismos e a ocorrência de reações deteriorantes, tais como escurecimento, oxidação e hidrólise), utilizando o ar quente para haver transferência de calor com a superfície do produto, vaporizando a água contida neste, propiciando o aumento do tempo de vida útil, combatendo a perecibilidade e evitando seu desperdício (SILVA, 2018). Essa transferência de calor corre por condução, criando um gradiente de temperatura, entre o meio, a superfície e o interior da matéria a ser seca (PARK et al, 2007).

Além dessa transferência, ocorre também a transferência de massa de água da superfície do produto a ser seco para o ar do meio em que está pelo aumento da pressão de vapor (P_v), que cresce pelo aquecimento da água (PARK, et al., 2007). Dentro do material também ocorre uma transferência de massa, a difusão molecular, em que o líquido interno migra para a superfície para ser evaporado. Se a secagem ocorrer em ambiente fechado, sem fluxo constante de ar, a umidade do ar vai aumentar e modificar o gradiente de umidade (INCROPERA e DEWITT, 2001).

Algumas plantas medicinais possuem um alto teor de água, o que diminui o tempo de comercialização do produto (chamado de tempo de vida de prateleira ou tempo de prateleira) e oferece riscos de contaminação durante sua manipulação (SILVA, 2018). Para aumentar a durabilidade desses produtos uma opção é reduzir a água deles, pois os microorganismos que causam a decomposição de produtos alimentícios necessitam de água para proliferarem (SILVA, 2018).

Através de estudos microbiológicos, sabe-se que a umidade dos produtos de origem vegetal deve ser reduzida até atingir, no máximo, 15%, para que haja um controle do crescimento de microrganismos presentes e não perca as propriedades do produto, mas não deve ser inferior a 5% pois o produto se torna altamente hidroscópico e necessita um ambiente de moagem, tamisação e envase com baixa umidade relativa do ar (MORAES e RODRIGUES, 2006; MARQUES, 2009; SILVA, 2018). No entanto, a ANVISA limita em no máximo 25 % de teor de água nos alimentos pois essa porcentagem já é suficiente para reduzir 25% dos microrganismos, dando uma margem maior para as empresas trabalharem (MORAES e RODRIGUES, 2006; SILVA, 2018).

Estudos das curvas de secagem e determinação do teor de água permitem compreender e visualizar melhor o processo, para escolher qual o melhor procedimento, equipamento e temperatura, com o objetivo das propriedades sensoriais e nutritivas se aproximem ao máximo dos produtos *in natura* (FELLOWS, 2006; FOUST, 1982)

Alguns tipos de secagem podem alterar o produto tanto no seu valor nutricional como em suas características sensoriais, pois altas temperaturas em tempo prolongado podem modificar a cor, textura e sabor, sendo a textura a mais afetada devido às altas temperaturas provocarem alterações físicas e químicas na superfície dos produtos (SILVA, 2018).

Vega-Mercado et al. (2001) citam como exemplos de secagem a secagem com fornalhas, bandejas, túnel de secagem, *spray*, secador rotativo, liofilização, desidratação osmótica, extrusão, leiteo fluidizado, uso de micro-ondas, radiofrequência e a secagem adiabática (usa corrente de ar quente), que é dividida em secador de cabine, secador de túnel, atomizador (*spray dryer*), leiteo fluidizado, fornos secadores e *puff dryer*.

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

Esta técnica foi criada em 1950 na Califórnia, EUA, pela busca de um processo de secagem barato, rápido, que não ocupasse muito espaço e que conservasse as propriedades do produto (MARQUES, 2009).

Como matéria prima, esse processo utiliza o material inicialmente em estado líquido ou pastoso (semilíquido), e transforma-o em semissólido estável (espuma) com ou sem adição de agente espumante (sintético ou natural) através de um processo de agitação que incorpora gás (ar ou outro) no material líquido (RAJKUMAR et al., 2007; THUWAPANICHAYANAN et al., 2008)

A adição do agente espumante é necessária quando a matéria prima não contém, em sua composição, proteínas ou saponinas em porcentagem suficiente para produzir espuma estável durante o processo de agitação (SANKAT e CASTAIGNE, 2004; MARQUES, 2009) A espuma deve se manter mecânica e termodinamicamente estável na temperatura ambiente por, no mínimo, uma hora, pois em caso de instabilidade a espuma volta ao estado de suco, acarretando a desestruturação celular e tornando ineficiente a remoção da água da superfície, o que reduz a qualidade do produto final obtido, influenciando diretamente na eficiência do método (BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011; FRANCO, 2015).

A formação da espuma estável permite aumentar a área superficial e, conseqüentemente, diminuir o tempo de secagem, permitindo um menor gasto energético e uma menor exposição do material ao ar quente (MARQUES, 2009).

As espumas são sistemas dinâmicos, através da qual a fase líquida é contínua e permanece nos contornos da fase gasosa dispersa de cada bolha (assume uma forma diversa, conferindo mínima tensão à área de interface) (PEREIRA, 2015). A formação e estabilidade da espuma pode ser influenciada pelo teor de sólidos totais, tensão superficial, a temperatura da amostra durante a formação de espuma, tempo de batimento, o tipo e a quantidade dos agentes espumantes, tamanho das gotículas das emulsões (pequenas moléculas geram maior estabilidade) e viscosidade newtoniana (PEREIRA, 2015; FRANCO, 2015; BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011).

Se comparado com o líquido da secagem pulverizada (*spray drying*) e a secagem em tambor (*drum drying*), a espuma tem uma maior área superficial – entre 2 e 5 mm de espessura para secagem-, aumenta a transferência de calor e massa e a capilaridade através dos poros da espuma facilita a perda da umidade, o tempo de secagem e a temperatura são menores, tornando um processo, que não consuma tanta energia (comparado com outros tipos de secagem) e degrade menos, ou não degrade, as propriedades sensoriais e físico-químicas da matéria prima preservando o valor nutricional e terapêutico do material *in natura* (MARQUES, 2009)

Sendo mais estável e com maior duração, o processo de secagem em camada de espuma diminui as perdas do produto final, tornando uma economia ao fornecedor (diminui as avarias no transporte) e vendedor final. Outro fator determinante a favor das vantagens econômicas do processo, é não necessitar de altas temperaturas, o processo é energeticamente econômico. As baixas temperaturas também são um grande atrativo para as indústrias alimentícias, pois as altas temperaturas degradam as proteínas e comprometem a qualidade do produto final (VASCONCELOS, 2017).

O produto final referente a este processo, tem como vantagem, além da redução de volume (facilitando o transporte e armazenamento) e diminuição da atividade microbológica (não sendo necessário ambientes extremamente controlados para armazenamento, transporte e local de venda, além do aumento da vida útil na prateleira), a fácil reidratação – por ser um produto poroso -, a retenção das substâncias voláteis (por causa da baixa temperatura do processo e determinados espumantes ficam grudados aos carboidratos), preservação da cor, aroma e do sabor e é quebradiço (CAVALCANTE et al, 2017; MARQUES, 2009; VASCONCELOS, 2017; FRANCO, 2015).

Tornando-o adequado a materiais sensíveis ao calor, viscosos e com alto índice de açúcar (CAVALCANTE *et al.*, 2017).

Cada produto natural tem uma propriedade e estado único, por isso, ao longo dos anos, a secagem em camada de espuma vem sendo aplicada e estudada em produtos com características distintas para encontrar a metodologia que apresente a espuma mais estável, que suporte bombeamento, espalhamento e um certo período de tempo sem voltar ao estado de suco, e a maior massa específica do produto final (GURGEL, 2019). Como por exemplo o fruto do mandacaru (MELO, 2013), polpa da goiaba (CRUZ, 2013), polpa da manga (GUIMARÃES, 2017), polpa da graviola (GURGEL *et al.*, 2015), polpa da seriguela (FURTADO *et al.* 2010); polpa da atemoia (GALDINO *et al.*, 2016), cenoura (DELMIRO, 2016), caldo de cana (MARQUES, 2009), suco verde (VILAR, 2019), folha da gravioleira (OLIVEIRA, 2019), banana (GURGEL, 2019), polpa do cajá (CAVALCANTE *et al.*, 2018) (SOUSA *et al.*, 2020).

No entanto, apesar de tantas vantagens, quando houver adição de espumante na secagem em camada de espuma, que ajuda na estabilidade da espuma, as propriedades sensoriais e físico-químicas do produto final podem ser alteradas, sendo uma desvantagem para o processo, por isso a importância de estudar a interação entre o espumante e o produto.

2.3.2 Cinética de secagem

A análise da cinética de secagem tem como objetivo conhecer o comportamento do material analisado ao longo do processo e a prever do tempo de secagem, pois os dados experimentais obtidos são representados através de curvas relacionando o teor de umidade com o tempo (SILVA, 2018; CARVALHO, 2014; GURGEL, 2014).

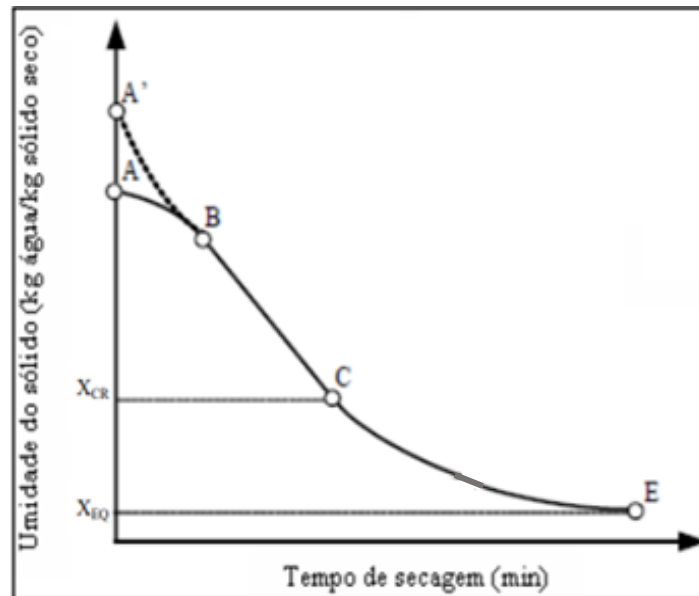
Com a curva de secagem é possível estimar o tempo de secagem do produto, o gasto energético, conseqüentemente o custo do processo e projetar o preço final do produto, e com essas informações projetar os equipamentos (MARQUES, 2009).

Caso a taxa de transferência interna de umidade for igual ou maior do que a taxa de transferência externa de umidade, o processo ocorre com uma taxa constante de secagem, chamada de Período de Taxa Constante (PTC). Mas, se a taxa de transferência interna de umidade é menor do que a taxa de transferência externa de umidade, o processo ocorre com uma taxa decrescente de secagem, chamado de Período de Taxa Decrescente (PTD).

A espuma do método de secagem em camada de espuma geralmente está exposta aos dois períodos de taxa de secagem pois o suco que a forma apresenta células dispersas em meio aquoso, sem estarem protegidas por uma película protetora (MARQUES, 2009).

A Figura 2 evidencia as fases da curva cinética que demonstram as seguintes fases:

Figura 2 - Curva de cinética de secagem.



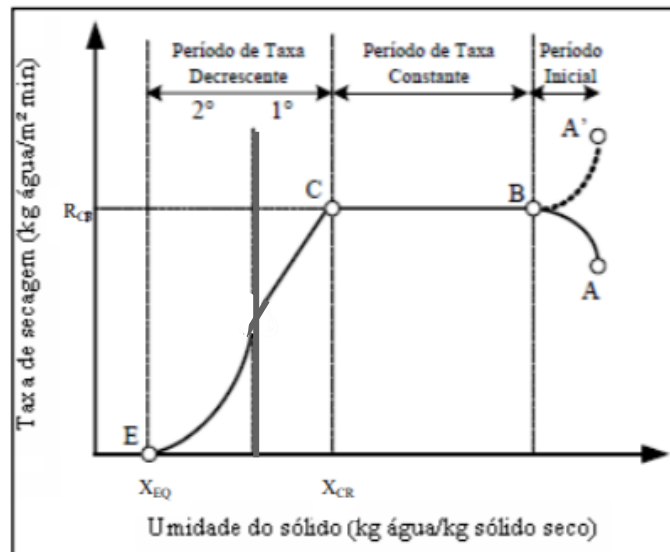
Fonte: Adaptada de PERAZZINI (2011).

- A' – B: a fase gasosa está a uma temperatura abaixo da temperatura que se encontra o sólido e absorve energia deste, diminuindo significativamente a taxa de secagem;
- A – B: o sólido está a uma temperatura abaixo da temperatura de saturação adiabática do ar e a taxa de evaporação aumenta até o momento em que é atingida a condição de equilíbrio;
- B -C: Após atingir a condição de equilíbrio, a temperatura da superfície do sólido é igual à temperatura de bulbo úmido do ar, mantendo saturada a superfície do sólido, dando início ao período à taxa de secagem constante (quando a migração da água do interior do material para a superfície do sólido ocorre tão rápido quanto a evaporação da água), com dominância da transferência por convecção. Tornando a taxa de secagem dependente das condições de temperatura, umidade e velocidade do ar.

- C: A taxa de secagem deixa de ser constante quando o sólido atinge o grau de umidade crítica (X_{CR}), em que a temperatura de sua superfície aumenta e a taxa de secagem diminui rapidamente.
- C - E: Quando a taxa se torna decrescente, o que controla o processo de transferência de massa é a migração interna de umidade no interior do sólido para a sua superfície;
- X_{EQ} : É o ponto caracterizado pela umidade de equilíbrio, que determina o fim do processo de secagem.

Outra maneira de representar a cinética de secagem é através da relação taxa de secagem por umidade do sólido, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Curva da taxa de secagem.



Fonte: Adaptada de PERAZZINI (2011).

2.3.3 Modelos matemáticos

Os modelos matemáticos utilizados para representar a cinética são desenvolvidos a partir da análise do comportamento de secagem de uma única partícula (com os parâmetros de transporte constantes), possibilitando uma descrição similar da taxa de secagem (MAYTA, 1996). E são divididos em (LEITE, 2018):

- Modelos puramente convectivos;

- Modelos difusivos: São os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido considerando a difusão seu mecanismo principal, baseada na segunda Lei de Fick (o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água e a um coeficiente de difusão de água no sólido) (GASPARIN, 2012).

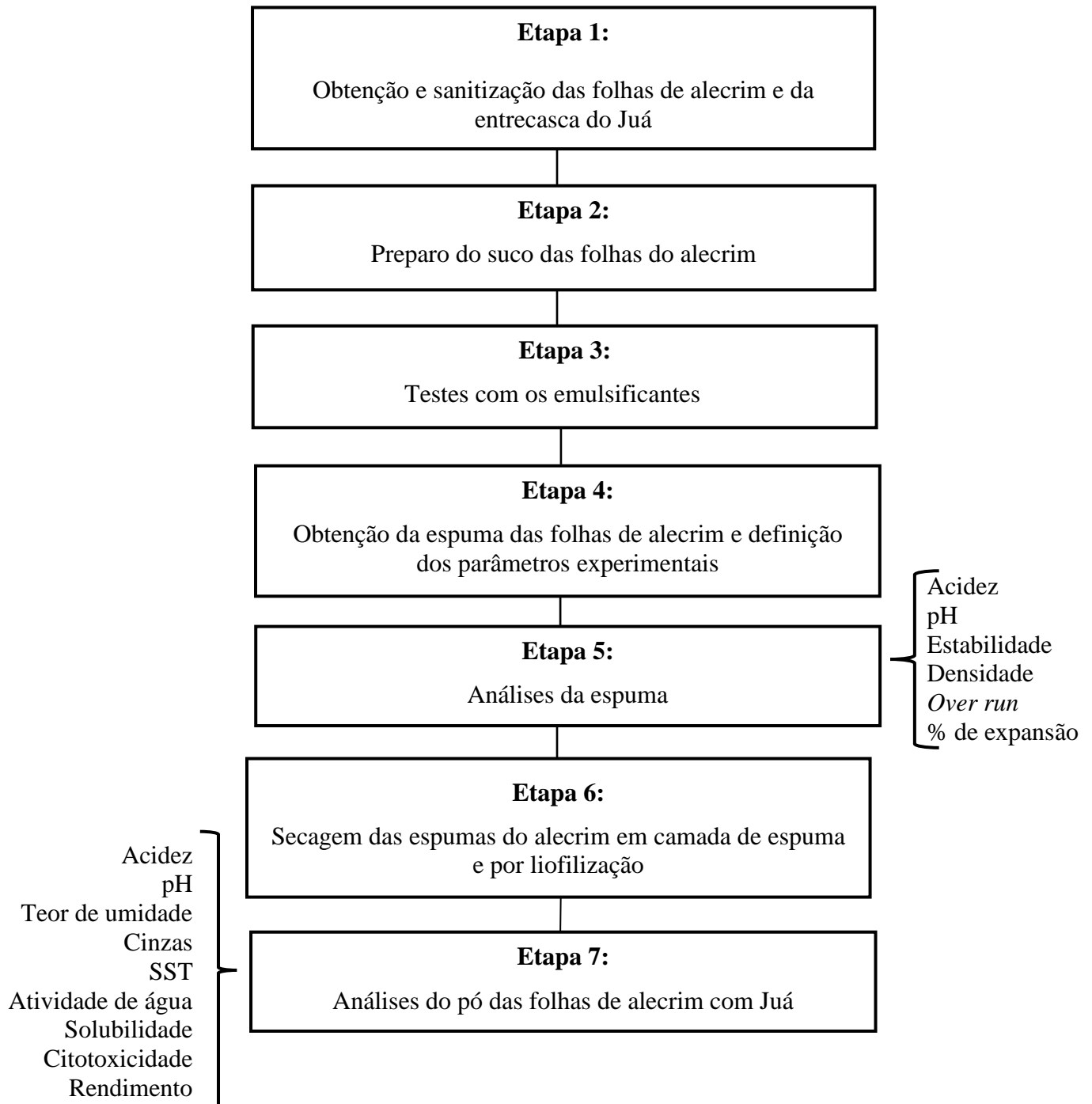
As relações semiempíricas e empíricas são as melhores opções para descrever as curvas de secagem pois estão restritas às condições dos dados experimentais, e derivam de uma relação direta entre o teor médio de umidade e o tempo de secagem o que não descreve os processos que ocorrem durante toda a secagem (LEITE, 2018; PANCHARIYA, POPOVIC e SHARMA, 2002).

Para o ajuste dos dados experimentais foi seguido o método de Gauss-Newton, com regressão não linear, comparando os respectivos valores de coeficiente de regressão não linear (R^2) e erro padrão de estimativa (S), onde o agrupamento dos experimentos foi dado pela variável temperatura (OLIVEIRA, 2018). Para que o ajuste seja o mais adequado os modelos deverão ter seu valor de coeficiente de regressão não linear (R^2) alto e o mais próximo de um (1,0) e o valor do erro padrão da estimativa (S) deve ser o baixo e mais próximo de zero (OLIVEIRA, 2018).

3 METODOLOGIA

Para a melhor apresentação da metodologia utilizada, o projeto foi dividido em etapas durante as quais foram desenvolvidas uma série de análises (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma das etapas do projeto e atividades desenvolvidas.



3.1 Etapa 1: Obtenção e sanitização das folhas de alecrim e da entrecasca do Juá

As amostras de folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) utilizadas neste projeto foram adquiridas no período de agosto a outubro de 2019, no Mercado Público de Tambaú (7°06'37.8"S 34°49'29.3"O) em João Pessoa, considerando as características físicas: cor (verde claro) e aspecto (recém-colhidas).

Os espumantes comerciais foram adquiridos no comércio de João Pessoa e os galhos do juá (*Ziziphus joazeiro*) em propriedade privada (7°34'57.5"S 37°32'17.5"O) na cidade de Tabira, no estado de Pernambuco.

Após a aquisição, as folhas de alecrim foram levadas para o laboratório de Termodinâmica da Universidade Federal da Paraíba (7°08'31.7"S 34°51'01.6"W) onde foram sanitizadas de acordo com a Resolução RDC nº 216/2004 (BRASIL, 2005). Em seguida, foram lavadas com água destilada e deixadas para evaporar o excesso de água por aproximadamente 12 horas, em ambiente de ar-condicionado a, aproximadamente, 24 °C e entre 50 e 60 % de umidade, medidos por um termo-higrômetro digital da marca Incoterm. Quando não eram usadas imediatamente após esse processo eram guardadas em potes plásticos na geladeira por até 2 dias.

Já os galhos do juá foram descascados para obtenção da entrecasca, que foi seca em camada de espuma nas seguintes condições: concentração de juá de 0,3 g/mL, tempo de agitação de 3 minutos e temperatura de secagem de 70 °C (VASCONCELOS, 2017).

3.2 Etapa 2: Preparo do suco das folhas do alecrim

O suco das folhas do alecrim foi preparado com a adição de água destilada às folhas, sendo essa mistura homogeneizada por dois minutos em um liquidificador industrial de alta rotação da marca Metvisa, em potência máxima, sendo essas as condições fixadas para a realização de todos os experimentos.

Foram feitos testes preliminares para escolha da melhor proporção de água e folha de alecrim.

3.3 Etapa 3: Testes com os emulsificantes

Através de pesquisa bibliográfica sobre secagem em camada de espuma e o conhecimento da equipe do laboratório de Termodinâmica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, foram analisados três emulsificantes, sendo dois sintéticos e um natural: Emustab (Água, emulsificantes: monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (INS 471), estearato de potássio (INS 470), monoestearato de sorbitana (INS 491) e polioxietileno de monoestearato de sorbitana (INS 435)), Portogel (água, propileno glicol e emulsificantes: monoglicerídeos destilados, éster de poliglicerol e estearato de potássio) e o pó da entrecasca do juá (ácido betulínico, ácido oleamólico, amido, anidrido fosfórico, cafeína, celulose, hidratos de carbono, óxido de cálcio, proteína, sais minerais, saponina e vitamina C) (DANTAS et al., 2014).

Durante o estudo foram analisadas porcentagens entre 2 e 8% de emulsificante em relação a massa do suco.

Para analisar qual emulsificante apresentava melhor resultado com a menor quantidade, foram realizadas avaliações visuais e teste de estabilidade da espuma.

3.4 Etapa 4: Obtenção da espuma das folhas de alecrim e definição dos parâmetros experimentais

Para obter a espuma, além da concentração dos espumantes, foram testados também vários tempos de agitação para a formação da espuma utilizando uma batedeira Planetária Deluxe da marca Arno, modelo SX84, sendo a velocidade de agitação máxima fixada como padrão para todos os experimentos.

Após esses testes, e já considerando a secagem dessa espuma formada foi proposto um planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais (Tabela 1).

Tabela 1 - Matriz do planejamento experimental fatorial completo.

Experimentos	C (%)	tag (minutos)	T (°C)
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0

C – concentração do espumantes; tag – tempo de agitação e T – temperatura de secagem

No entanto, para as análises utilizando apenas a espuma, sem a interação da temperatura, somente foram utilizadas condições dos experimentos indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz do planejamento experimental fatorial utilizada sem a influência da temperatura.

Experimentos	C (%)	tag (minutos)
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
9	0	0

C – concentração do espumantes; tag – tempo de agitação

3.5 Etapa 5: Análises da espuma

A espuma foi estudada de acordo com as seguintes análises: estabilidade; densidade; porcentagem de expansão; capacidade de incorporação (*over run*); pH; acidez Total Titulável (ATT).

Estabilidade da espuma

A análise de estabilidade térmica da espuma é baseada de acordo com a metodologia citada por Karim e Chee-Wai (1999), que adaptaram de Sauter e Montoure (1972) em que demarca o valor de 90 minutos para considerar a espuma termicamente estável e poder ser utilizada no processo de secagem em camada de espuma (BAG, SRIVASTAV e MISHRA, 2011).

As amostras, aproximadamente 20 g, foram colocadas em um filtro de nylon suportado por um funil de polímero sintético em uma proveta graduada de 100 mL, em triplicata, e levadas para a estufa de secagem com circulação e renovação de ar lateralmente, nas temperaturas de secagem estipuladas de acordo com o planejamento experimental; a cada 10 minutos eram anotados os volumes drenados, até completar 90 minutos. Assim, a estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume de líquido drenado na proveta (PINTO, 2009; SILVA FILHO, 2012).

Densidade

Para a análise da densidade foi colocada uma proveta em uma balança semi-analítica (marca Shimadzu modelo BL3200H), que foi preenchida com a espuma até o volume da proveta. E foi anotada a massa. O mesmo procedimento foi realizado para o suco. A análise foi feita em triplicata.

Para obter o valor da densidade das amostras foi utilizada a Equação 3.1, que representa a massa da espuma pelo volume inserido na proveta.

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

Porcentual de expansão da espuma

Com os valores das densidades da espuma e do suco foi obtido a porcentagem de expansão de cada espuma através da Equação 3.2, que é obtida pela subtração do inverso da densidade da espuma pelo inverso da densidade do suco, dividido pelo inverso da densidade do suco.

$$\% \text{ expansão} = \frac{\left(\frac{1}{\rho \text{ espuma}} - \frac{1}{\rho \text{ suco}}\right)}{\frac{1}{\rho \text{ suco}}} \times 100 \quad (3.2)$$

Capacidade de incorporação do ar (*over run*)

Para essa análise o suco formado foi colocado em um béquer e em seguida, foi feito o processo de obtenção da espuma. E os volumes foram anotados. Essa análise foi feita em triplicata. E para o cálculo da porcentagem de ar incorporado foi utilizada a Equação 3.3, que é obtida pela subtração do volume da espuma pelo volume do suco, dividido pelo volume do suco.

$$\% \text{ over run} = \frac{(V_{\text{espuma}} - V_{\text{suco}})}{V_{\text{suco}}} \times 100 \quad (3.3)$$

Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para esta determinação foi utilizada uma proveta volumétrica para medir 10 mL de água destilada e um béquer com 1 g da amostra pesados em uma balança analítica, ou seja, uma solução de 10% (p/v). Em seguida a solução foi agitada com bastão de vidro para uma homogeneização e diluição, e utilizado o potenciômetro MS Tecnozon. Para a calibração do equipamento foram utilizadas soluções tampão de pH 7 e 4, em ambiente com temperatura controlada de 25 °C. Esta análise foi realizada em triplicata.

Acidez Total Titulável (ATT)

A acidez total titulável leva em conta a quantidade de ácido cítrico presente, pois o ácido cítrico confere a propriedade antioxidante ao material, então a acidez é a quantidade de ácido cítrico (peso molecular igual a 192,124g/mol) em 100 g da amostra (IAL, 2008).

Inicialmente foi pesado, aproximadamente, 1 g da amostra (espumas, suco e pós) em um frasco Erlenmeyer e, em seguida, adicionado 50 mL de água destilada. Por fim, foi adicionado 4 gotas (aproximadamente 0,1 g) de uma solução de fenolftaleína, previamente preparada. Após a adição o frasco foi agitado manualmente e realizada a titulação em que a solução de Hidróxido de sódio (NaOH) foi colocada em uma bureta em local protegido da ação direta da luz.

Para o cálculo da acidez foi utilizada a Equação 3.4, que se multiplica o volume de NaOH titulado, com molaridade corrigida da solução de hidróxido de sódio, peso molecular do ácido cítrico, divididos pela massa da amostra e pelo número de hidrogênio ionizáveis do ácido cítrico.

$$acidez = \frac{V_{NaOH} * 0,101 * 100 * 192,124}{m_{amostra} * 3 * 10} \quad (3.4)$$

Teor de umidade

O teor de umidade foi obtido para as espumas e os pós das folhas de alecrim.

O teor de umidade em base seca foi determinado pelo método gravimétrico com estufa a 105 °C, onde aproximadamente 1 g da amostra, em cadinhos de alumínio, foi levado à estufa com circulação de ar forçada a 105 °C e deixado por 24 horas.

Após esse período as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecadores até atingir temperatura ambiente. Em seguida, os valores de suas massas (massa de sólido seco - m_{ss}) foram obtidas através da pesagem das amostras. O teor de umidade em base seca foi calculado pela diferença de massa (g) inicial e final da análise dividido pela massa de sólido seco (g) que representa a razão entre a água evaporada no processo e a massa de sólidos presentes na amostra, exposto pela Equação 3.5, já em base úmida foi calculado pela diferença de massa (g) inicial e final da amostra dividido pela massa inicial (g), exposto pela Equação 3.6. Realizado em triplicata.

$$X_{bs} = \frac{(m_i - m_{ss})}{m_{ss}} \quad (3.5)$$

$$X_{bu} = \frac{(m_i - m_{ss})}{m_i} \quad (3.6)$$

3.6 Etapa 6: Secagem das espumas do alecrim em camada de espuma e por liofilização

Para a secagem, a espuma, com uma espessura de 0,5 cm, foi espalhada uniformemente em uma bandeja de inox. E essa bandeja com a espuma foi colocada numa estufa de circulação de ar modelo SL 102/221 Solab, e a cada intervalo de tempo pré-determinado, a bandeja foi retirada para pesagem. As pesagens foram feitas de acordo com o comportamento do material:

- Até 30 minutos: a pesagem foi feita de 5 em 5 minutos;
- Entre 30 e 70 minutos: a pesagem foi realizada a cada 10 minutos;
- Entre 90 e 190 minutos: a pesagem foi realizada de 20 em 20 minutos;
- Após 190 minutos: a pesagem foi realizada de 30 em 30 minutos até o peso ser constante em 3 pesagens consecutivas.

Com os resultados obtidos de massa ao longo do tempo de secagem, foi possível construir as curvas de cinética de secagem e da taxa de secagem. Vale salientar que a secagem da espuma foi feita de acordo com o planejamento experimental fatorial completo $2^3 + 3$ pontos centrais mostrado na Tabela 1.

O comportamento durante a remoção de água no processo de secagem em camada de espuma da folha de alecrim foi observado pela plotagem das curvas de cinética de secagem entre a razão de umidade (RU) e o tempo de secagem.

A razão de umidade é calculada pela razão entre a umidade em base seca e a umidade em base seca inicial, como mostra a Equação 3.7.

$$RU = \frac{X_{bs}}{X_{bs0}} \quad (3.7)$$

Com o estudo da estatística, utilizando o programa STATISTIC 12.0 com intervalo de confiança de 95%, se estuda quais são os efeitos e interações possíveis das variáveis independentes (temperatura de secagem, tempo de agitação e concentração de espumante) sobre as respostas

(curvas de secagem) para que seja analisado quais efeitos apresentaram respostas significativas na cinética e nas caracterizações da espuma e dos pós.

Para o ajuste das curvas de secagem foram utilizadas as equações dos modelos matemáticos de secagem descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos matemáticos para descrever a cinética de secagem.

Modelos matemáticos	Equações teóricas
Page	$RU = e^{-kt^n}$
Page modificado*	$RU = ae^{-kt^n}$
Newton	$RU = e^{-kt}$
HENDERSON e PABIS	$RU = ae^{-kt}$
Midilli, Kucuk e Yapar	$RU = ae^{-kt^n} + b * t$
Logarítmico	$RU = ae^{-kt} + c$
Wang e Singh	$RU = 1 + at + bt^2$

* MANGUEIRA (2018)

Fonte: Adaptado de ERTEKIN e YALDIZ (2004), LIMA (2020).

Na Tabela 3 é possível observar que cada modelo apresenta uma razão do teor de água do produto (valor adimensional representado por RU) calculado pela relação entre o tempo de secagem (t), em horas, o coeficiente de secagem (k) e a constante de cada modelo matemático (a,b, n).

Para a escolha dos modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais da secagem da folha de alecrim foram considerados os seguintes critérios (COSTA et al. 2018).

1. Inferência sobre o modelo usando o teste F:

- Cálculo da distribuição $F_{significância} = p\text{-value}$: Fornecido no Statistica 7.
- Teste de hipótese: $F_{significância} < \alpha = 0,05$, 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 7 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 7. Caso afirmativo, há justificativas para descartar esse coeficiente.

O ajuste dos dados experimentais seguiu o método de Gauss-Newton, com regressão não linear, comparando os respectivos valores de coeficiente de regressão não linear (R^2) e erro padrão de estimativa (*S*), onde o agrupamento dos experimentos foi dado pela variável temperatura (OLIVEIRA, 2018). Para que o ajuste seja o mais adequado os modelos deverão ter seu valor de coeficiente de regressão não linear (R^2) alto e o mais próximo de um (1,0) e o valor do erro padrão da estimativa (*S*) deve ser o mais baixo e mais próximo de zero (OLIVEIRA, 2018).

Ao final da secagem, os pós foram retirados das bandejas com o auxílio de espátulas de aço inox, e logo em seguida se media a atividade de água - em triplicata - no equipamento Novasina LabMaster - a_w . Após essa medição os pós eram armazenados em embalagens de polietileno com fechamento hermético (sacos *zip lock*). Os sacos fechados foram guardados em recipientes de vidro com sílica.

Liofilização

Para efeito de comparação com a secagem em camada de espuma, foi obtido o pó do alecrim pelo processo de liofilização, pois se trata de um processo que mantém todas as características sensoriais do material.

O suco obtido da folha do alecrim, sem a adição do agente espumante, foi congelado e levado ao Laboratório de Ambientes Recifais e Biotecnologia com Microalgas – LARBIM/LEA/UFPB para passar pelo processo de secagem no liofilizador Terroni® LD1500 à -40 °C. Essa operação remove a umidade através da sublimação.

3.7 Etapa 7: Análises do pó das folhas de alecrim com juá

As análises feitas no pó obtido para cada condição de secagem foram: sólidos solúveis totais (SST); cinzas; rendimento teórico; pH; atividade de água; índice de solubilidade em água (ISA); acidez titulável total; umidade; citotoxicidade.

Sólidos solúveis totais – SST (°Brix)

A análise de determinação dos sólidos solúveis totais (SST) foi baseada na metodologia de IAL (2008), em que se dissolve 1 g da amostra em 10 mL de água destilada em tubos de centrífuga de polímero sintético, que foram colocados no equipamento Vortex (modelo AP 56 da marca Phoenix Lufesco, com motor de 3800 rpm), para homogeneização da mistura, por 1 minuto, e deixados em repouso por 30 minutos. Em seguida, levados para a centrífuga, da marca Novatecnica, por 5 minutos, com rotação de 4500 rpm.

Foi feita a leitura de uma alíquota dessa solução em refratômetro, marca PAL-Alpha, com faixa de leitura de 0 a 85% Brix, com resolução de 0,1% e exatidão de 0,2%, com a função de compensação automática de temperatura, onde se obtém resultados independentes da temperatura ambiente, que é controlada em $25\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ (NEI, 2020), calibrado com água destilada a cada amostra e feita a leitura do valor do °Brix (os resultados foram multiplicados por 10 por causa da diluição). A análise foi realizada em triplicata.

Teor de cinzas

A metodologia usada nesse experimento foi adaptada do IAL (2008), em que se pesou 1 g de amostra (pós) em cápsula de porcelana e em seguida colocou-se em uma mufla a 550 °C , por 4 horas. Após o resfriamento, o cadinho de porcelana foi pesado e, pela Equação 3.8, pela divisão entre a massa final pela massa inicial do processo, foi obtido o valor em gramas. O experimento foi realizado em triplicata.

$$\text{cinzas (\%)} = \frac{100 * m_{final}}{m_{inicial}} \quad (3.8)$$

Este resultado não pode ser considerado como todas as substâncias inorgânicas presente

na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento (HORWITZ e LATIME, 2006). Mesmo assim é usado para indicar a quantidade total de minerais presentes na amostra, um valor importante para indicar a adulteração de produtos, por exemplo farinhas, uma das possíveis aplicações do pó de alecrim.

Rendimento teórico

O rendimento teórico foi calculado pela razão entre a quantidade de pó obtido no final da secagem ($m_{pó}$) e a quantidade de espuma inicialmente utilizada (m_{espuma}), obtidos pela pesagem em balança semi analítica e da marca Marte, modelo AD2000 ou Shimadzu modelo BL3200H. O cálculo do rendimento teórico é mostrado na Equação 3.9.

$$Rendimento (\%) = \frac{m_{pó}}{m_{espuma}} * 100 \quad (3.9)$$

Potencial Hidrogeniônico (pH)

Mesma metodologia descrita para a espuma. O pó também foi diluído, com a diferença de que houve agitação mecânica e vigorosa.

Atividade de água (a_w)

A atividade de água é a umidade em equilíbrio que está presente na amostra, ou seja, o grau de disponibilidade da água contida na amostra (HONORATO, 2006; GUILBERT; MORIN, 1986). Essa umidade pode acarretar atividade microbiológica, enzimática ou química, além de reações de oxidação lipídica, escurecimento não enzimático, atividade enzimática (algumas enzimas que causam mudanças químicas precisam da água para reagir), afetando a estabilidade física do produto diferentemente do teor de umidade, que não prediz a estabilidade dos alimentos.

Estuda-se o comportamento da mistura de produtos com diferentes valores de atividade de água (transferência de umidade entre ingredientes) para predizer a curva de isoterma (Umidade

versus a_w), além de projetar embalagens para proteger contra a umidade do meio (SILVA, 2018; MORAES e RODRIGUES, 2006; CUNHA, 2016; BRASIL, 2010)

É possível utilizar os valores de atividade de água para prever o desenvolvimento de microrganismos, reações químicas, tempo de vida de prateleira,

A atividade de água (a_w) foi determinada com auxílio do equipamento Novasina LabMaster - a_w que é utilizado para quantificar a água livre disponível para reações químicas, bioquímicas e crescimento microbiológico (TECNAL, 2020).

Para esta análise foi utilizada uma balança analítica para expressar o valor aproximado de 0,3 g de amostra (pós e folhas) em cubetas com aproximadamente 0,2 cm de altura. Sendo a temperatura de análise no equipamento de 25 °C, e temperatura do ambiente de 25 °C \pm 2 °C. As amostras foram coletadas ao término da secagem e realizadas em triplicata.

Índice de solubilidade em água (ISA)

A análise para determinação da solubilidade foi baseada no método exposto primeiramente por Eastman e Moore (1984), e no estudo feito por Barbosa (2010) e Franco (2015) na caracterização do pó de polpas de frutas desidratadas.

Para a análise foram adicionados 50 mL de água destilada e, aproximadamente, 0,5 g da amostra em tubos de centrífuga de polímero sintético com fundo redondo e com tampa de rosca. Esses tubos foram colocados no equipamento Vortex (modelo AP 56 da marca Phoenix Lufenco, com motor de 3800 rpm), para sua homogeneização, por 1 minuto, e levados para a centrífuga, da marca Novatecnica, por 5 minutos, com rotação de 4500 rpm

Após esse processo, com uma pipeta graduada, foram retirados 12,5 mL do sobrenadante e transferidos para placa de Petri (que anteriormente foi colocada em estufa a 105 °C por 60 minutos e, em seguida, em um dessecador até atingir temperatura ambiente), em triplicata, com valores em grama anotados antes e depois da adição da amostra. As placas com as amostras foram levadas a estufa, com circulação interna de ar a 105 °C por 150 minutos e, os valores expostos na balança analítica após esse tempo foram aplicados à Equação 3.10, sendo uma divisão entre a massa final e o volume total da solução com a massa inicial e o volume da alíquota, para a obtenção do valor, em porcentagem, da solubilidade.

$$\% \text{ solubilidade} = \frac{(m_{\text{final}} - m_{\text{placa de petri}}) * V_{\text{total}}}{m_{\text{inicial}} * V_{\text{aliquota}}} * 100 \quad (3.10)$$

Acidez Total Titulável (ATT)

Mesma metodologia descrita para a espuma.

Teor de umidade

Mesma metodologia descrita para a espuma.

Citotoxicidade

A letalidade a microcrustáceos pode ser utilizada como um teste preliminar durante o isolamento de produtos naturais para saber a toxicidade dos compostos bioativos de um produto às larvas de *Artemia salina* (MOREIRA, 2013). Utiliza-se esse experimento para ter um primeiro indício de que o produto natural testado tem ação antifúngica, antiviral, antimicrobiana, parasiticida, antitumoral, tripanossomicida, entre outras ações relacionadas com atividade microbiana (MOREIRA, 2013).

Pode ser utilizada na avaliação e fracionamento monitorado para bioatividades, podendo levar ao isolamento de flavonóides, triterpenos, esteróis e compostos aromáticos simples, poupado a necessidade de ensaios antitumorais caros ou em animais (MOREIRA, 2013).

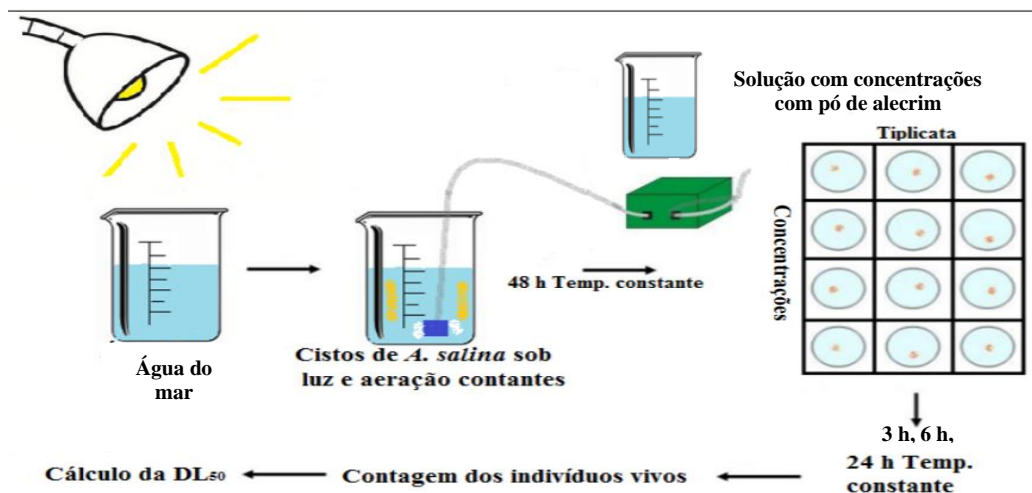
No caso deste trabalho, o ensaio de letalidade em *Artemia salina* foi proposto para avaliar a toxicidade do pó do alecrim com juá; o alecrim é uma planta frequentemente utilizada na indústria alimentícia, porém o pó do juá, apesar de haver conhecimento popular, ainda não é utilizado industrialmente. Portanto, foi necessário o estudo da sua interferência no produto final. A análise foi feita com o pó obtido nas condições experimentais do experimento 8 (C = 8%; tag = 8 min; T = 70 °C)

A análise foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Meyer (1982), com algumas modificações, em que os cistos de *Artemia salina* foram doados pelo Professor Dr Marçal

de Queiroz do Laboratório Químico de Produtos Naturais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN), Departamento de Química da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde foi feita a análise.

Os cistos de *Artemia* foram colocados para eclodir em água do mar (coletada na praia de Cabo Branco, João Pessoa, Paraíba, (7°07'46.0"S 34°49'18.7"O)). A solução salina (pH 8-9) foi filtrada para retirar areia e impurezas, sendo que 1 L foi utilizado para a eclosão dos ovos (100 mg) e o restante utilizada para preparo das diluições das amostras a serem testadas. A eclosão dos ovos ocorreu em temperatura ambiente e sob luz de 100 W por um período de 48 h (Figura 5).

Figura 5 - Etapas da análise de letalidade com *Artemia salina*.



Fonte: Adaptado de MOREIRA (2013).

Em um béquer foi preparada uma solução com 150 mL de água do mar e 0,156 g de pó do alecrim para que a solução fosse de 2000 ppm, e agitado, primeiramente com uma baqueta de vidro e, em seguida, com um Mix (marca Mondial, modelo Versatile) por 1 minuto. Após a agitação, a mistura foi deixada descansando até a espuma diminuir. As concentrações do extrato foram determinadas levando em conta que, tanto o alecrim quanto o juá, são plantas popularmente conhecidas e já utilizadas, por isso uma concentração inicial alta (2000 ppm), maior que a concentração citada na literatura, foi adotada (MOREIRA, 2013). As demais concentrações seguiram o padrão da literatura, diminuição da metade da concentração anterior (MOREIRA, 2013).

Dessa solução foi retirado 75 mL e dividido em 3 tubos de ensaio de 20 mL cada. Da solução que sobrou foi adicionado 150 mL de água do mar e feito o processo de agitação e de

retirada de 75 mL e dividido em 3 tubos de ensaio de 20 mL cada, repetindo esse processo 8 vezes, ou seja, 8 ensaios em triplicata, para que tenha 8 concentrações desejadas, como mostrado na Tabela 4. Os resultados foram obtidos através da média das triplicatas.

Após o preparo das soluções com as concentrações, como mostrado na Tabela 4, seguindo a metodologia de MOREIRA (2013), foram adicionadas 10 larvas vivas (sendo escolhidas as mais agitadas) de *Artemias salina* em cada tubo de ensaio e analisado a quantidade de larvas vivas depois de 3, 6 e 24 horas contados a partir do tempo 0.

Tabela 4 - Concentrações das soluções com *Artemia salina* L.

Ensaio	Concentração (ppm)
1	2000
2	1000
3	500
4	250
5	125
6	62,5
7	31,25
8	15,62

O número de larvas vivas em relação ao aumento da concentração dos extratos e frações foram utilizados para calcular os valores da DL_{50} (MOREIRA, 2013).

A obtenção da dose que causa letalidade de 50% dos náuplios (DL_{50}) foi calculada através da contagem da morte dos mesmos e calculada a porcentagem. Em experimentos de dose-resposta como este, a informação importante é a Susceptibilidade ou Tolerância de uma unidade experimental ao tratamento a que ela foi submetida, ou seja, a dose anterior à dose letal (letal dose - DL) para um indivíduo (MOREIRA, 2013).

Sendo assim, diante dos valores da DL_{50} obtidos através deste método, as substâncias testadas em diferentes concentrações são classificadas tóxicas quando a DL_{50} for menor que 1000 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ e não tóxicas quando a DL_{50} for maior que 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (MOREIRA, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PREPARO DO SUCO DAS FOLHAS DE ALECRIM

A proporção adotada foi de 1:3 (v/v) de massa da folha por água destilada, escolhida através de testes preliminares que permitiram chegar ao resultado de um suco nem tão espesso e nem tão líquido.

O suco da folha do alecrim não possui características espumantes, desta forma, para a obtenção da espuma, foi utilizado um aditivo, reportado na literatura como formador de espuma.

4.2 TESTES COM OS ESPUMANTES

Pelos testes preliminares, as melhores espumas foram obtidas com o uso dos espumantes Portogel® e o pó da entrecasca do juá; com o espumante Emustab® não se observou a formação de espumas.

Vasconcelos (2017) estudou a aplicação da entrecasca do juá pela sua alta porcentagem de saponinas e a presença de proteínas e lipídeos, como aditivo no processo de secagem em camada de espuma, na formação da espuma.

O pó da entrecasca do juá foi escolhido, pois foi o espumante testado que apresentou menor concentração para a formação de uma espuma mais estável. A concentração mínima de juá para uma espuma estável foi 4%, testando 5% não houve diferença, mas com 6% já foi possível verificar uma mudança, por isso as concentrações de espumante definidas foram 4%, 6% e 8%.

Além disso, o pó do juá apresentou a vantagem de se produzir um produto final (pó do alecrim) 100% vegetal, natural, sem conservante e química, podendo ser vegano. Isso possibilita a comercialização do produto atingindo um público crescente que se preocupa em consumir cada vez menos produtos químicos, seja esse consumo via oral ou tópico.

4.3 OBTENÇÃO DA ESPUMA

O presente estudo analisou diferentes tempos de agitação para incorporação do ar e diferentes porcentagens de espumantes.

O tempo de agitação mínimo testado foi de 2 minutos, mas a mistura do suco com o espumante não formou uma espuma homogênea e estável. Por isso aumentou-se para 3 minutos, que foi tempo suficiente para a formação da espuma esperada. Aumentando mais um minuto a espuma não mudou significativamente, mas com 5 minutos de agitação foi possível ver a diferença. Tendo esses dois pontos testados, o tempo máximo de agitação determinado foi 7 minutos, dessa forma as variáveis de tempo de agitação escolhidas foram 3, 5 e 7 minutos.

4.4 ANÁLISE DA ESPUMA

Como as espumas foram preparadas a temperatura ambiente, a variável temperatura de secagem foi desprezada durante a sua caracterização, ficando apenas os experimentos listados na Tabela 2. No entanto, a análise de estabilidade da espuma depende da temperatura, por isso essa análise foi realizada com todos os 11 experimentos explicitados na Tabela 1, já que se a espuma não for estável ela volta ao estado líquido no início do processo de secagem (submetido ao aquecimento) diminuindo a superfície de contato e inviabilizando a secagem em camada de espuma (THUWAPANICHAYANAN, PRACHAYAWARAKORN e SOPONRONNARIT, 2012).

4.4.1 Estabilidade da espuma

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, pois as espumas que não são estáveis podem gerar interferência no processo de secagem (KARIM e CHEEWAI, 1999).

A estabilidade da espuma é inversamente proporcional ao volume do líquido medido na proveta, ou seja, o grupo de variáveis que dão maior estabilidade a espuma é o que resultar em

menor volume na proveta após 90 minutos de análise nas temperaturas em que as espumas foram expostas durante a secagem.

As temperaturas foram escolhidas segundo estudos da resistência da matéria prima ao calor e a uma temperatura mínima que fosse significativamente quente para secar o material sem ter um tempo de processo muito longo. As temperaturas mínima e máxima estipuladas foram de 50 °C e 70 °C, respectivamente e a temperatura média de 60 °C.

Nas Figuras 6, 7 e 8 são mostrados os volumes drenados das espumas nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Figura 6 – Volume drenado da espuma versus tempo de secagem (estabilidade da espuma) para experimentos a 50 °C.

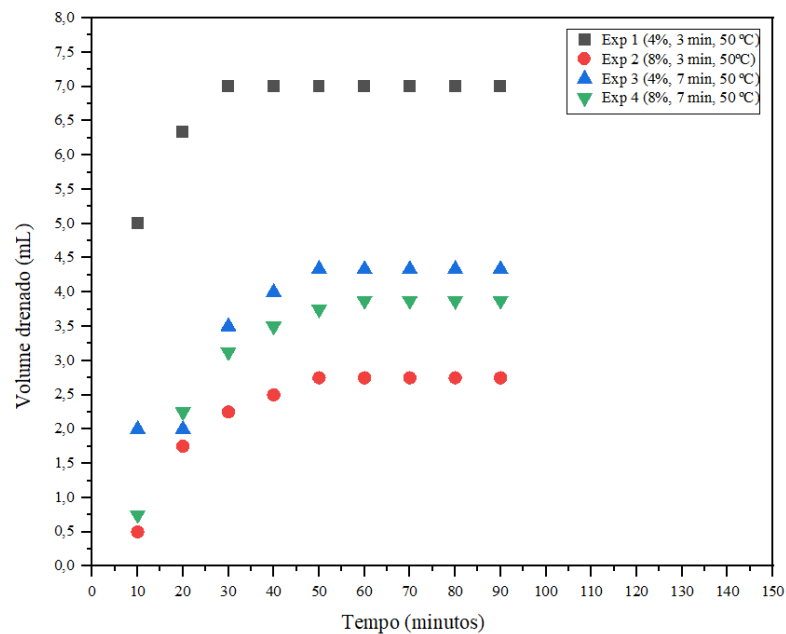


Figura 7 – Volume drenado da espuma versus tempo de secagem (estabilidade da espuma) para experimentos a 60 °C.

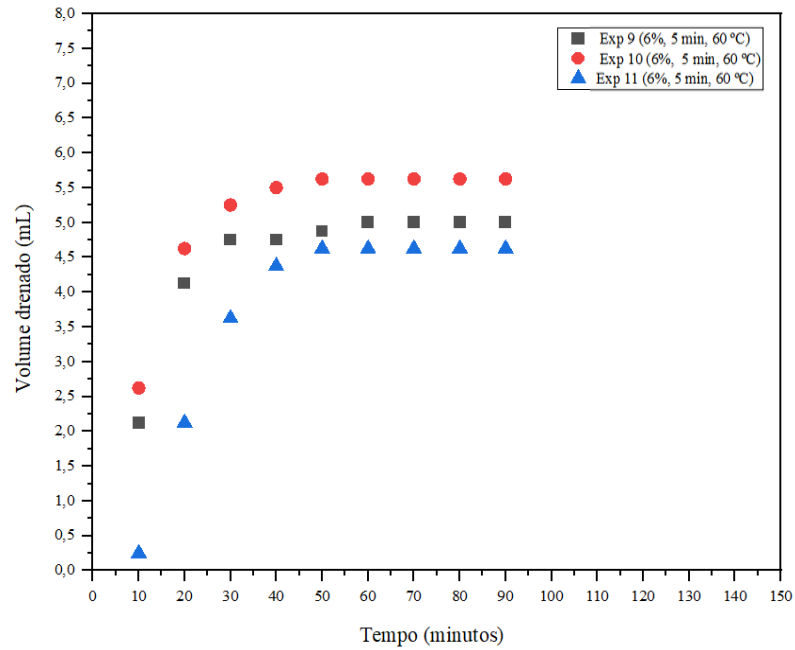
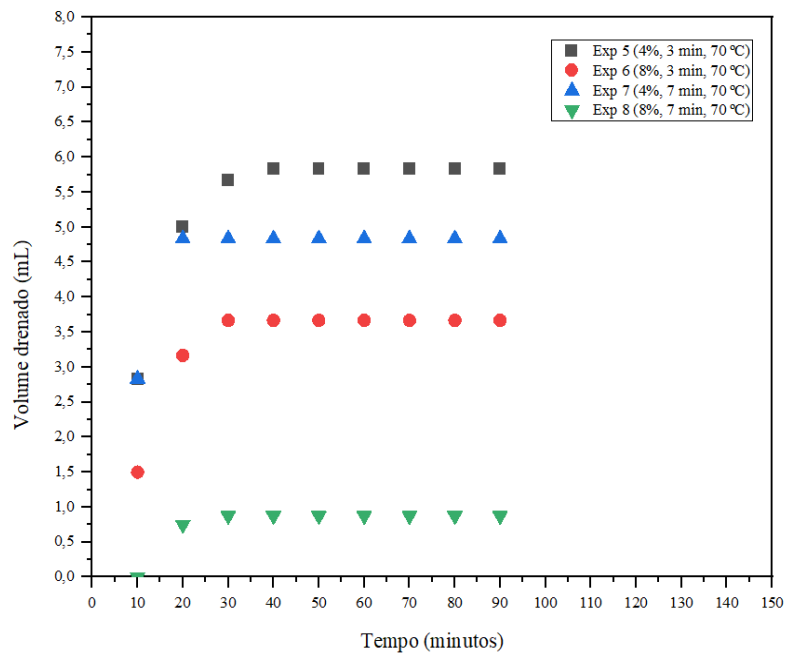


Figura 8 – Volume drenado da espuma versus tempo de secagem (estabilidade da espuma) para experimentos a 70 °C.



Pela Figura 6 foi observado que a espuma com a menor estabilidade (maior volume de líquido drenado) foi a formada no experimento 1, com as variáveis nas condições mínimas (4% de agente espumante, 3 minutos de agitação e 50 °C de temperatura de secagem) que obteve um escoamento de 7,2 mL de líquido depois de 30 minutos de análise.

Para as condições centrais (6% de agente espumante; 5 minutos de agitação; 60 °C temperatura de secagem) que corresponde aos experimentos 9, 10 e 11 tiveram como volume final de drenagem 5 mL, 5,6 mL e 4,6 mL, respectivamente, desde os 50 minutos de análise.

Já na Figura 8, a espuma com maior estabilidade é a que foi submetida às condições máximas – experimento 8 (8% de espumante, 7 minutos de agitação e 70 °C de temperatura de secagem), com 0,9 mL de líquido drenado. Foi observado também que em todos os experimentos o valor drenado estabilizou após 40 minutos de análise.

Leite (2018) avaliou a estabilidade da espuma da folha de hortelã-da-folha-miúda que apresentou, durante um período de 90 minutos, um volume drenado máximo de 11,4 mL, na temperatura de 70 °C. Oliveira (2018) estudou a estabilidade da espuma do suco da folha de graviola e obteve o volume de líquido drenado máximo da espuma foi de 4,4 mL. Os estudos citados utilizaram o espumante Portogel® diferentemente do estudo exposto.

Com base nos outros estudos citados e levando em consideração as diferenças de matéria prima, o volume drenado da espuma de alecrim foi considerado satisfatório, apresentando boa estabilidade para o experimento 8 de secagem em camada de espuma.

4.4.2 Densidade

A análise da densidade foi realizada em temperatura ambiente, estudando a interação da quantidade de espumante e o tempo de agitação (e, conseqüentemente, incorporação do ar). Foram feitas análises com os 11 experimentos com o intuito de comprovar a resposta.

Os valores das densidades das espumas (g/cm^3) foram calculados pela Equação 3.2 e são mostrados na Figura 9. A influência das variáveis independentes sobre a densidade é mostrada na Figura 10.

Figura 9 - Média das densidades das espumas da folha de alecrim.

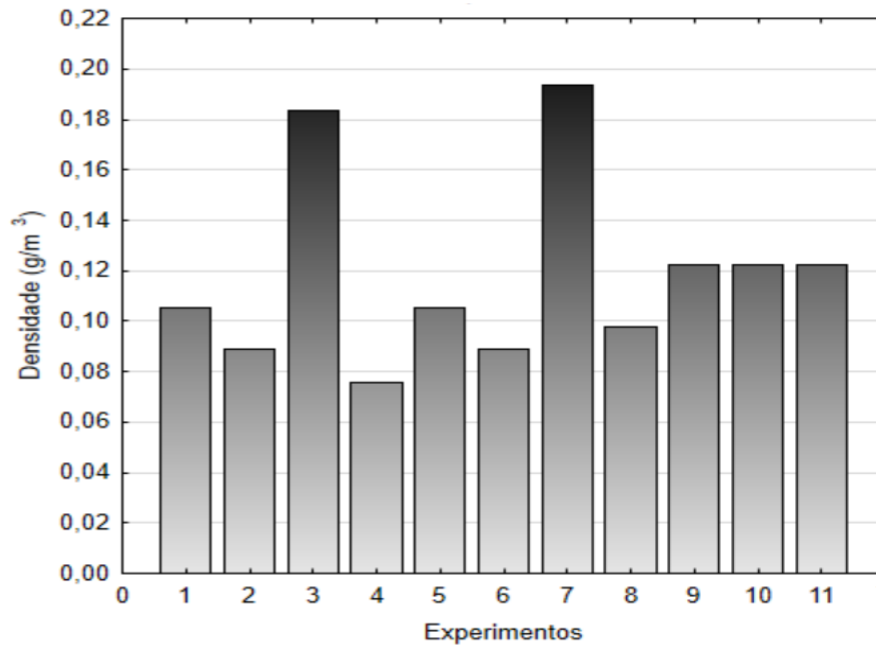
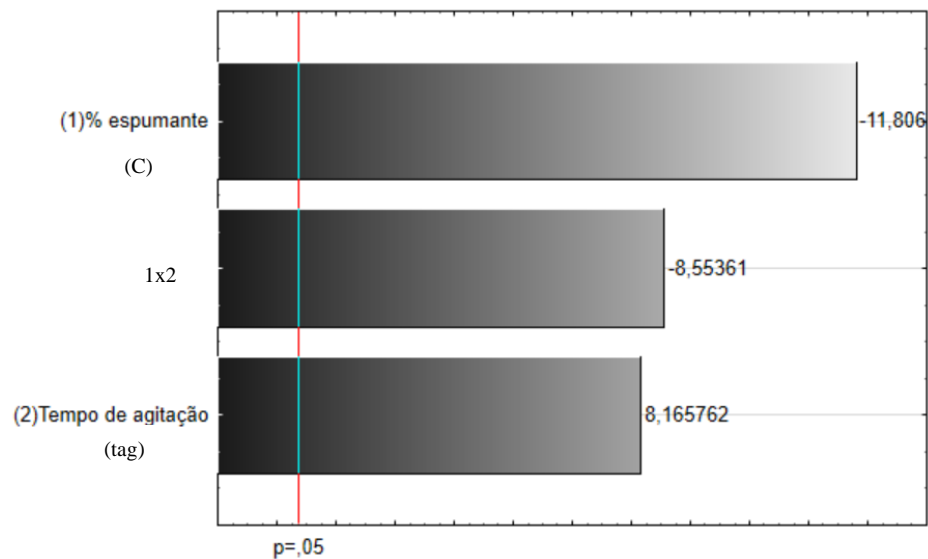


Figura 10 - Diagrama de Pareto para a densidade da espuma (g/cm³).



Pela Figura 9, observaram-se valores baixos para as densidades e um perfil de decréscimo não linear, que facilitam a remoção de água durante o processo de secagem em camada de espuma e aumentam a estabilidade da espuma (KUDRA e RATTI, 2006; LIMA, 2020). Os maiores valores da densidade foram para os experimentos 3 e 7 e o menor valor para o experimento 4.

Pela Figura 10, observou-se que todas as variáveis independentes e a interação entre elas foram estatisticamente significativas. A variável de porcentagem de espumante tem nível de significância negativo, demonstrando que é inversamente proporcional, e a interação entre as variáveis também tem nível de significância negativo, diferentemente do tempo de agitação (diretamente proporcional).

Na literatura, a interação da variável tempo de agitação é mais significativa do que a variável porcentagem de espumante, pois com o processo de agitação, o ar é incorporado ao líquido como bolhas, devido ao aumento na taxa de cisalhamento levando a uma diminuição da densidade da espuma à medida que o tempo de agitação aumenta (THUWAPANICHAYANAN, PRACHAYAWARAKORN e SOPONRONNARIT, 2008).

4.4.3 Porcentagem de expansão

A análise da porcentagem de expansão também foi realizada em temperatura ambiente, estudando apenas a interação da quantidade de espumante e o tempo de agitação, sendo seus valores mostrados na Figura 11. Na Figura 12 é mostrada a influência das variáveis independentes sobre a porcentagem de expansão.

Figura 11 - Porcentagem de expansão das espumas da folha do alecrim.

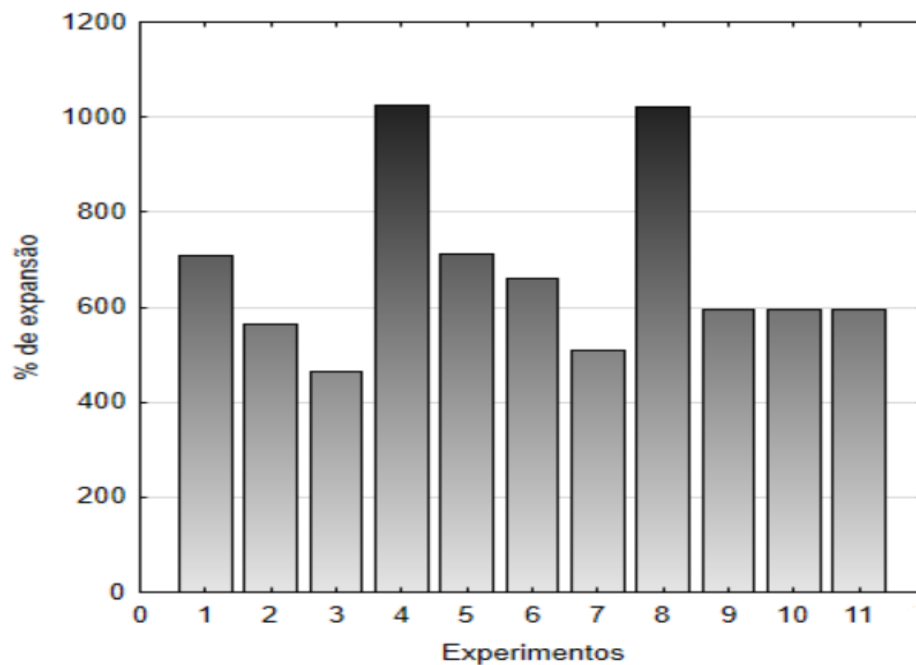
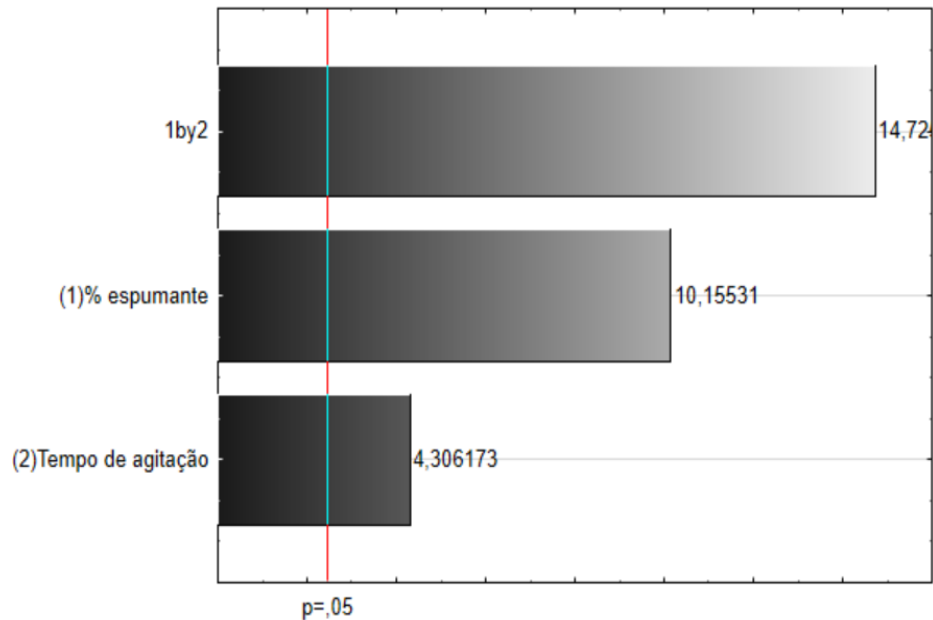


Figura 12 - Diagrama de Pareto para porcentagem de expansão das espumas da folha do alecrim.



De acordo com a Figura 11, a maior expansão encontrada foi nos experimentos 4 e 8 (correspondendo a 8% de juá e 7 minutos de agitação), com 781,44% de expansão. Correlacionando com o estudo da densidade da espuma, quanto menor a densidade da espuma (encontrado no experimento 4) maior a incorporação de ar, conseqüentemente uma das maiores expansões da espuma no experimento 4.

Por outro lado, o menor valor de percentual de expansão foi encontrado nos experimentos 3 e 7 que teve o valor de maior densidade. Esses experimentos são a interação entre a menor porcentagem de espumante (4%) e o maior tempo de agitação (7 minutos), tornando o estudo interessante, pois mostra que o tempo de agitação tem o efeito oposto quando há pouco espumante, mostrando a interação entre as variáveis. As duas variáveis independentes e a interação entre elas influenciam a variável porcentagem de expansão, como mostrado na Figura 12.

A expansão da espuma de alecrim variou entre 515,41% e 781,44%. Oliveira (2018) relatou uma expansão máxima de 1500% da folha da graviola com o espumante Portogel.

4.4.4 Capacidade de incorporação de ar (*Over run*)

Esta análise foi realizada em temperatura ambiente. Os valores obtidos na análise de incorporação de ar, também chamado de *over run*, e calculados pela Equação 3.3, estão expostos na Figura 12.

Figura 12 – Incorporação de ar das espumas da folha de alecrim.

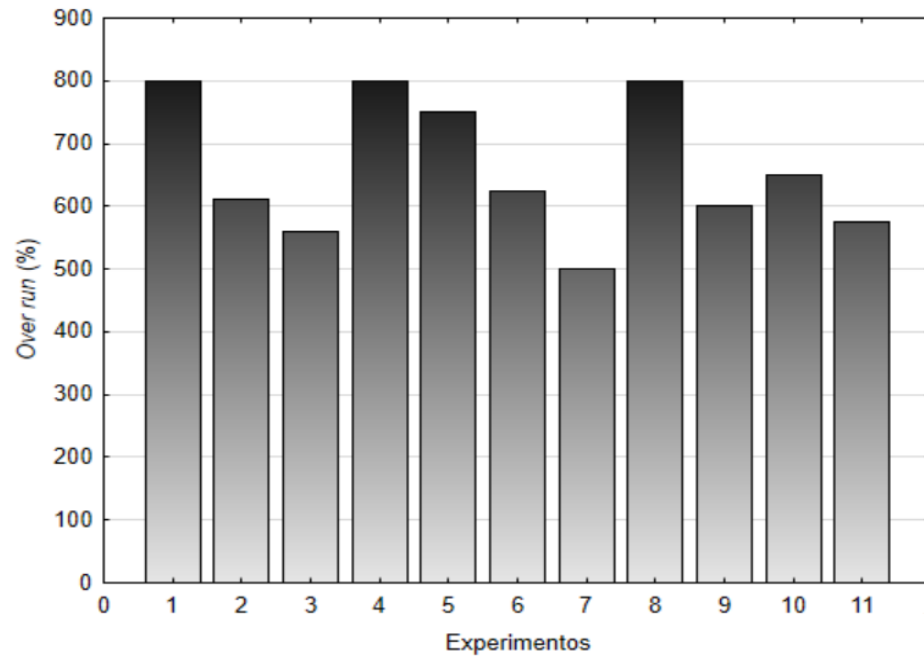
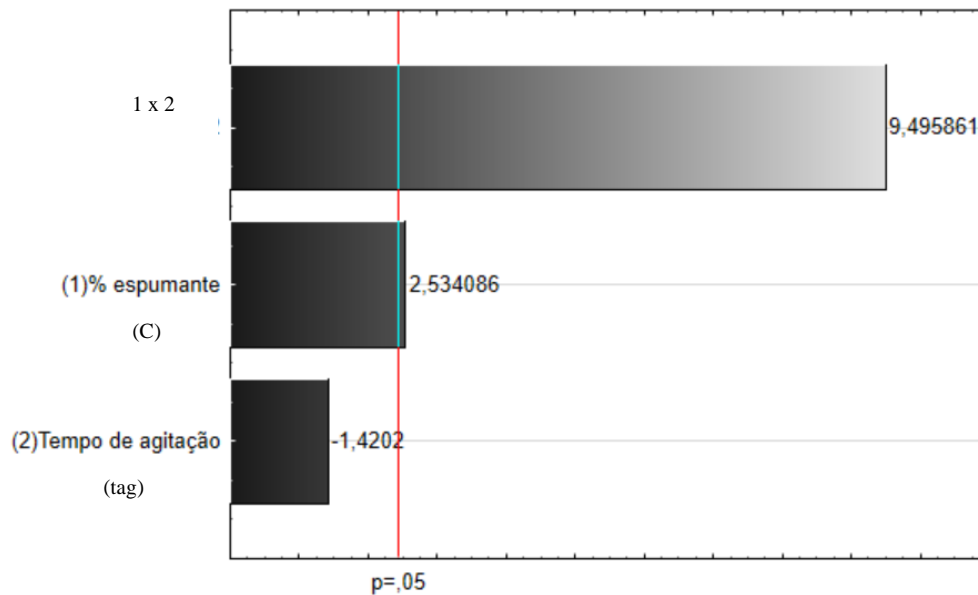


Figura 13 - Diagrama de Pareto para capacidade de incorporação das espumas da folha de alecrim.



Pela revisão bibliográfica esperava-se que quanto maior a concentração do agente espumante e tempo de agitação, maior a capacidade de incorporação de ar (*over run*) (OLIVEIRA, 2018; LIMA, 2020; LIMA, 2018). Essa expectativa foi concretizada com as folhas de alecrim, como observado na Figura 12. No entanto, o emulsificante utilizado por Lima (2020) e Lima (2018) foi o Portugel, diferentemente deste estudo que utilizou o pó das raspas do juá. Essa diferença não interferiu no resultado esperado.

Pela Figura 13 foi observado que a interação entre as duas variáveis independentes e a porcentagem de espumante são as variáveis estatisticamente significativas com valor do nível positivo, ou seja, é diretamente proporcional a capacidade de incorporação.

4.4.5 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores obtidos estão mostrados na Figura 14. Na Figura 15 é mostrado o diagrama de Pareto para o pH das espumas.

Figura 14 – Valores do pH das espumas do alecrim.

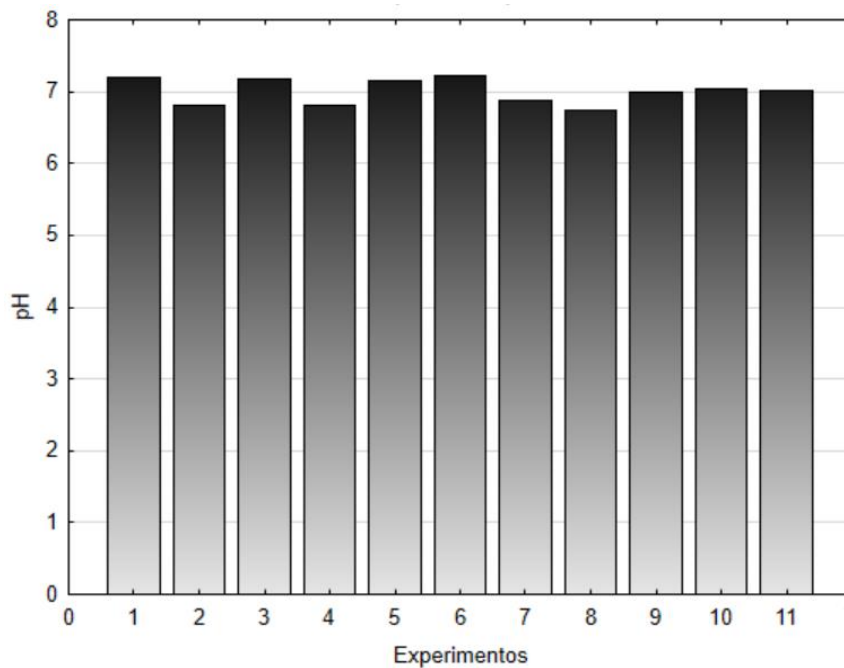
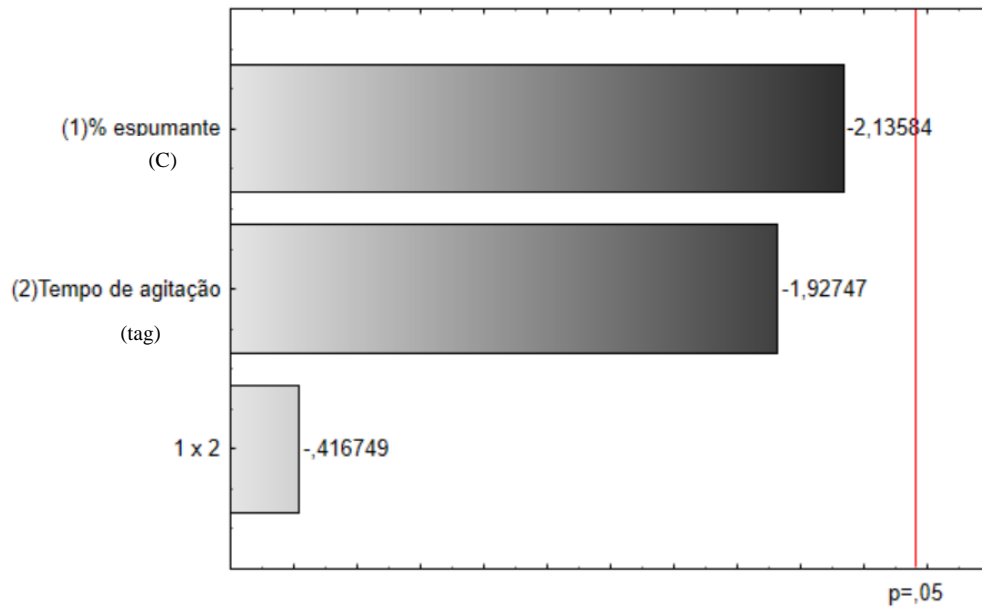


Figura 15 - Diagrama de Pareto do pH.



Pela Figura 14 observa-se que pH dos 11 experimentos não apresentou variação muito grande, apresentando um valor em torno do neutro (pH igual a 7). Já na Figura 15, observa-se que nenhuma das variáveis independentes e nem a interação entre elas foram significativas em um nível de confiança de 95 %.

4.4.6 Acidez Total Titulável (ATT)

Os valores obtidos da acidez total titulável para a espuma são mostrados na Figura 16. E na Figura 17 o diagrama de Pareto para a influência da variável independente concentração de espumante sobre essa resposta.

Figura 16 - Valores da acidez titulável das espumas do alecrim.

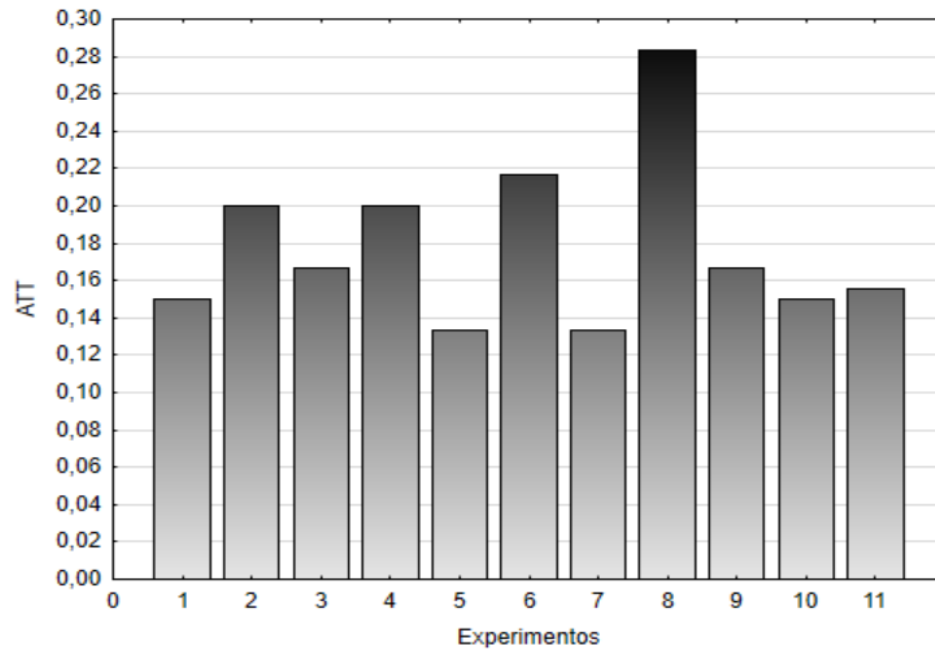
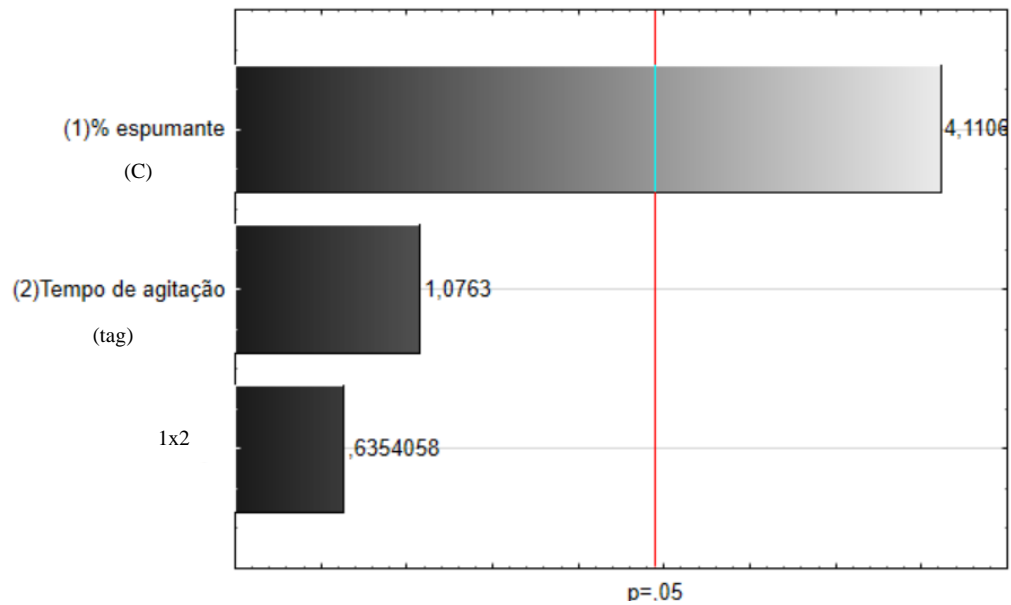


Figura 17 – Diagrama de Pareto para ATT das espumas do alecrim.



Pela Figura 16 foi observado que as espumas possuem acidez entre 0,142 e 0,242. Pela Figura 17, a concentração do espumante é a única variável estatisticamente significativa (com nível

positivo, ou seja, tendo um comportamento diretamente proporcional), para um nível de confiança de 95%, para a acidez titulável total das espumas do alecrim. Assim, os experimentos com maior acidez são os 2, 4, 6 e 8, pois quantidade de espumante (8%).

4.5 CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA DE ESPUMA

A partir da cinética de secagem foi realizada uma análise estatística para verificar os efeitos das variáveis independentes sobre a variável dependente (tempo de secagem). Essas variáveis dependentes são importantes para entender o processo e otimizá-lo, maximizando a qualidade do produto e minimizando o gasto energético da operação. O tempo de secagem de cada experimento é exibido na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de secagem em camada de espuma da espuma das folhas do alecrim.

Experimentos	Variáveis independentes			Variável dependente
	C (%)	tag (minutos)	T (°C)	t _{final} (minutos)
1	4	3	50	130
2	8	3	50	130
3	4	7	50	150
4	8	7	50	130
5	4	3	70	70
6	8	3	70	70
7	4	7	70	90
8	8	7	70	90
9	6	5	60	110
10	6	5	60	110
11	6	5	60	130

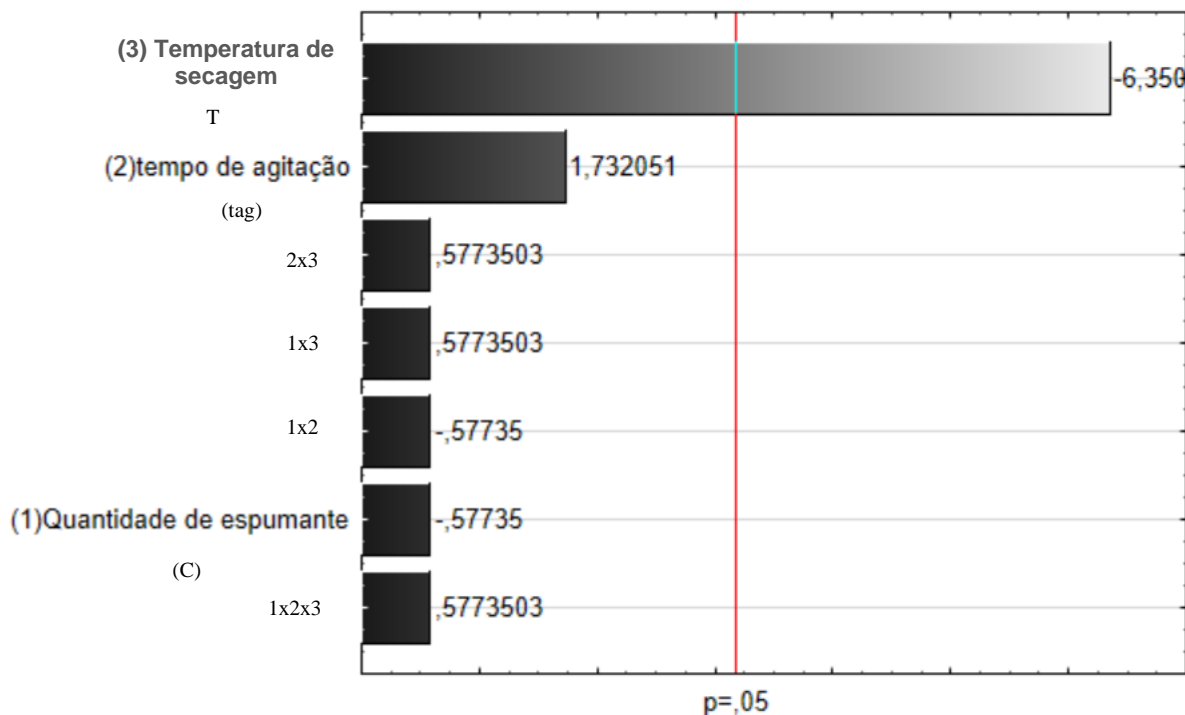
C – concentração do espumantes; tag – tempo de agitação; T – temperatura de secagem e t_{final} – tempo final de secagem

Pela Tabela 5, o menor tempo de secagem foi encontrado nos experimentos 5 e 6, que divergem da quantidade de espumante, mas possuem o mesmo tempo de agitação (3 min) e a maior

temperatura de secagem (70 °C). O maior tempo de secagem foi de 150 minutos, correspondente ao experimento 3 (4% de agente espumante, 7 minutos de agitação e 50 °C). Comparando os tempos com as características das espumas, observa-se que o experimento 3 obteve a menor expansão e a maior densidade da espuma, já os experimentos 5 e 6 obtiveram menores densidades, com isso é possível concluir a relação direta da densidade e tempo de secagem. Essas características comprovam a importância da caracterização física da espuma para esse processo específico de secagem, pois quanto mais leve a espuma for, mais fácil é de se retirar a umidade do sistema, realizando a secagem em um menor tempo e conservando as propriedades físico-químicas do material.

Na Figura 18 é mostrado o diagrama de Pareto para o tempo de secagem, onde foi observado que a variável independente temperatura é estatisticamente significativa no nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) para a variável dependente: tempo de secagem.

Figura 18 - Diagrama de Pareto para a variável resposta tempo de secagem.



Pela análise da Figura 18, percebeu-se que a única variável que afetou significativamente o tempo final de secagem foi a temperatura de secagem, em um intervalo de confiança de 95%. A

temperatura de secagem exerce uma influência de sinal negativo (-6,35), mostrando que quanto menor a temperatura de secagem maior será o tempo de secagem. Essa relação inversamente proporcional ocorre, pois, a transferência de calor aumenta conforme a temperatura, retirando uma maior umidade do material e diminuindo o tempo de secagem.

O modelo estatístico que representa a dependência entre as variáveis significativas, como está sendo mostrado na Equação 4.1 com coeficiente de determinação de 93,75 % e erro padrão de 79,167 %, para intervalo de confiança de 95 %. O teste F confirma esta relação significativa, sendo o $F_{\text{calculado}}$ maior que o F_{tabelado} .

$$t_{\text{secagem}} \text{ (minutos)} = 110 - 27,500.T \quad (4.1)$$

De acordo com o modelo, os menores tempos de secagem são obtidos ao trabalhar com altos valores de temperatura com quaisquer valores de concentração de espumante e tempo de agitação. Analisando o custo de produção com matéria-prima deve-se utilizar a menor concentração de espumante, e o menor tempo de agitação para minimizar os custos energéticos.

Nas Figuras 19, 20 e 21 são mostradas as curvas de cinética de secagem da espuma das folhas do alecrim a 50 °C, 60 °C e 70 °C, respectivamente.

Figura 19- Cinética de secagem da espuma das folhas de alecrim a 50 °C.

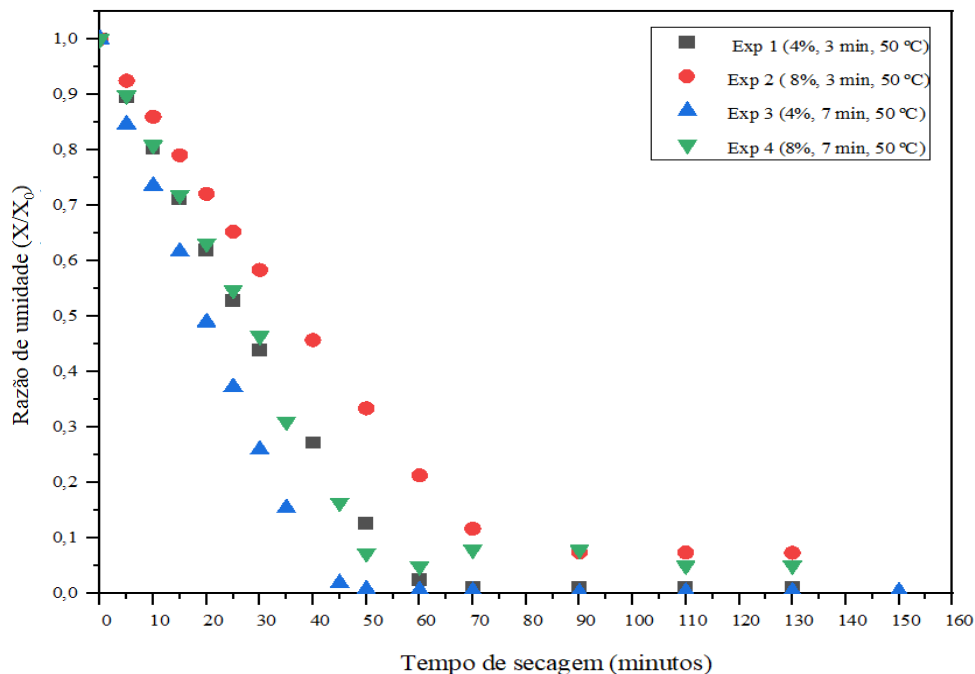


Figura 20 - Cinética de secagem da espuma das folhas de alecrim a 60 °C.

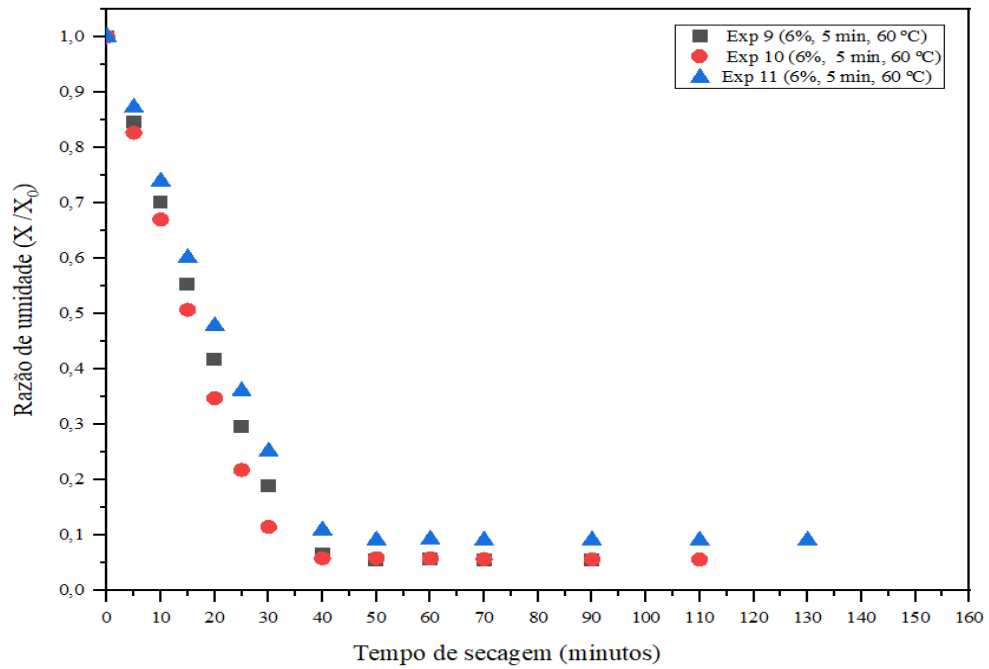
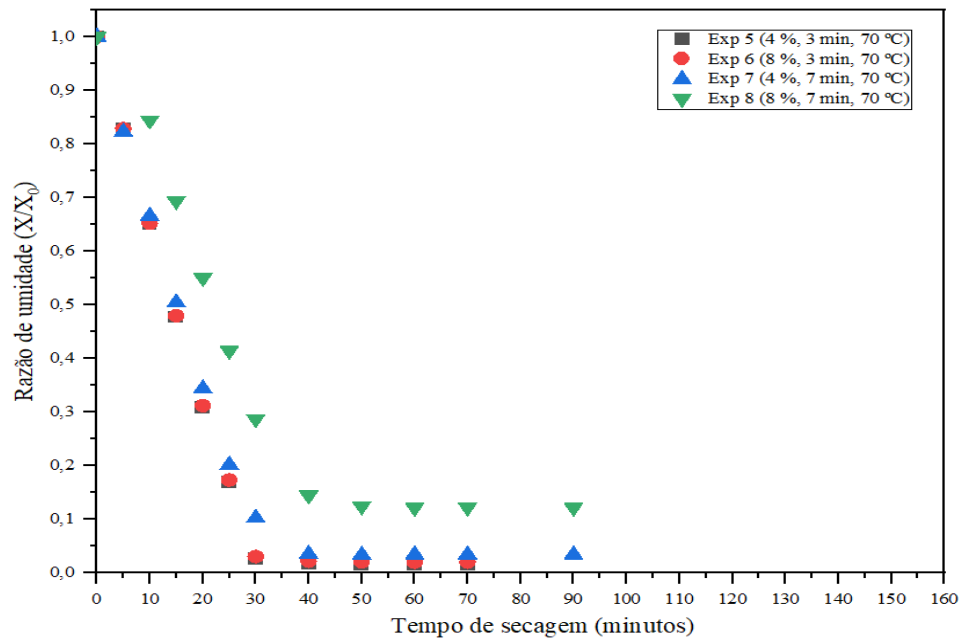


Figura 21 - Cinética de secagem da espuma das folhas de alecrim a 70 °C.



Nas Figuras 19 a 21 foram observadas o mesmo comportamento de razão de umidade decrescente e constante, sendo diferente apenas do tempo necessário para que ocorra a umidade de equilíbrio, que diminui conforme o aumento da temperatura, pois quanto maior a temperatura maior será a transferência de calor entre a espuma e o ar de secagem, resultando em uma evaporação mais rápida de água livre do produto. Na Figura 20 foi observado que os experimentos no ponto central do planejamento experimental apresentaram boa reprodutibilidade.

Pelas Figuras 24 a 26 foi observado que as curvas apresentaram longos períodos de taxa constante, seguidos de curtos período de taxa decrescente.

Essas informações podem ser melhor analisadas através das Figuras 21 a 23, que mostram a taxa de secagem ($\text{g}/\text{cm}^2\text{min}$) em função da umidade em base seca ($X_{b.s.}$).

Figura 21 - Taxa de secagem pela umidade em base seca para os experimentos com temperatura de secagem de $50\text{ }^\circ\text{C}$.

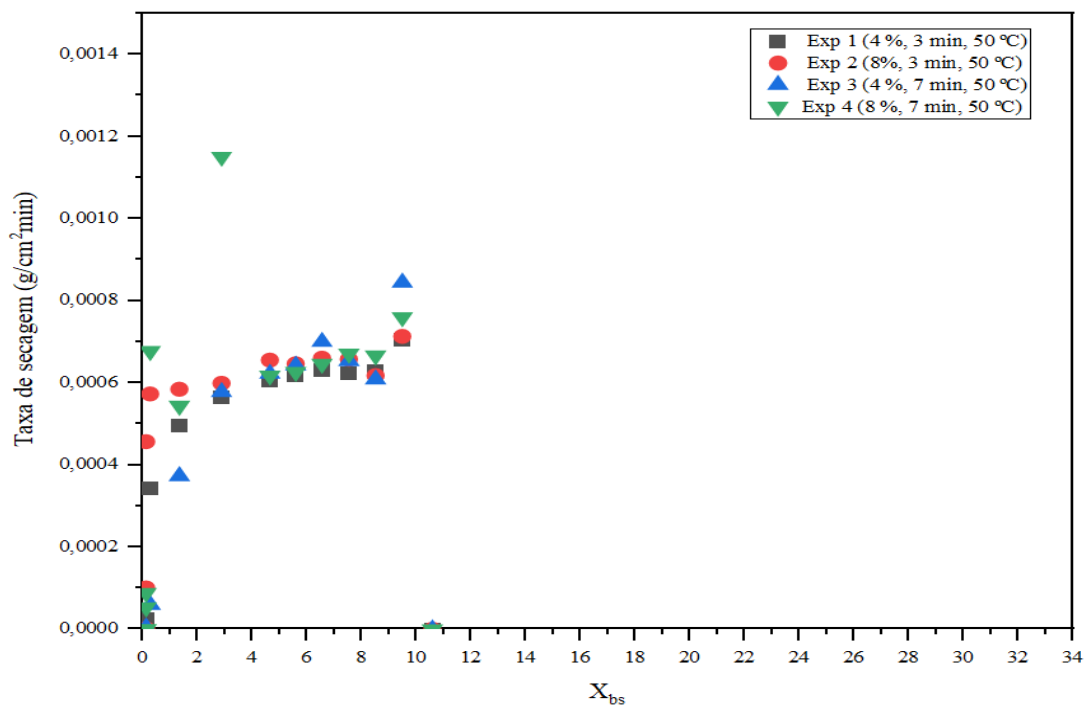


Figura 22 - Taxa de secagem pela umidade em base seca para os experimentos com temperatura de secagem de 60 °C.

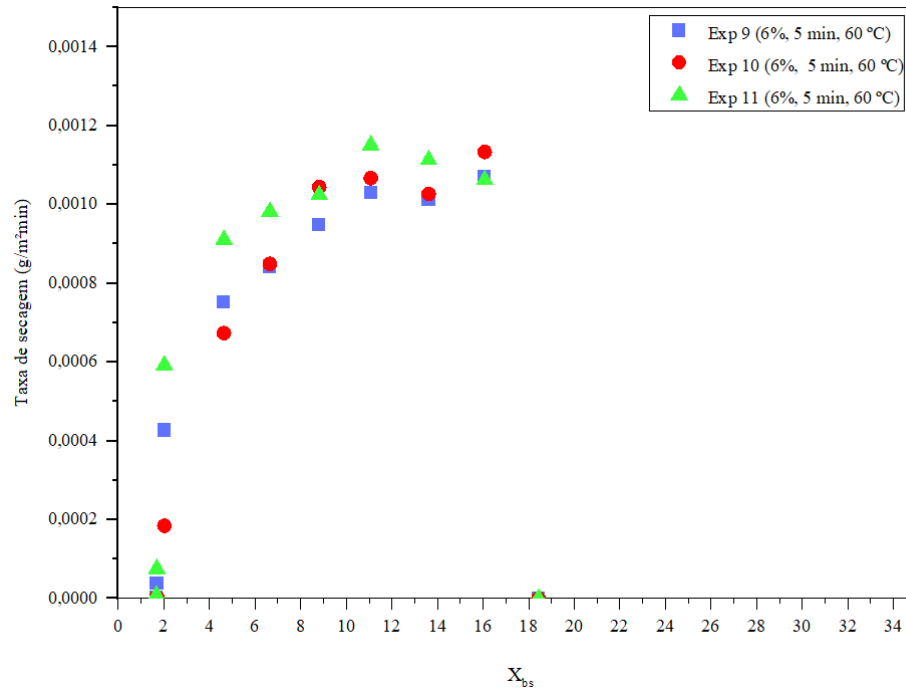
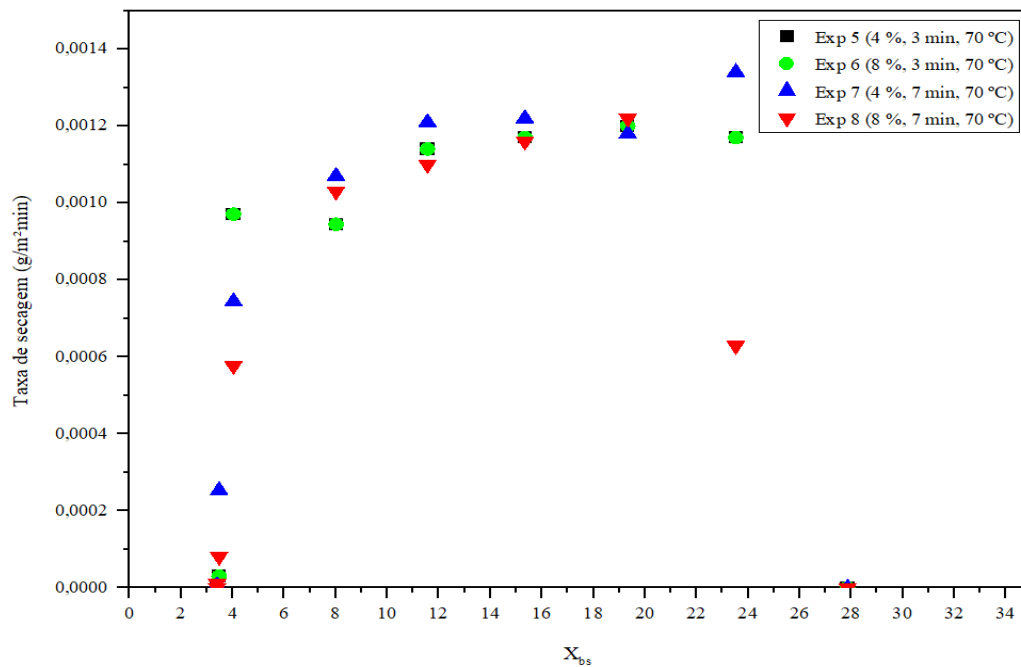


Figura 23 - Taxa de secagem pela umidade em base seca para os experimentos com temperatura de secagem de 70 °C.



Pela análise das curvas de taxa de secagem observou-se que as menores taxas de secagem foram apresentadas nos experimentos realizados na temperatura de secagem de 50 °C, para as temperaturas de 60 °C e 70 °C tem-se o valor máximo da taxa de secagem parecido, mas a relação com a umidade em base seca é maior para a temperatura de secagem de 70 °C. Observou-se um maior período de taxa constante nos processos e um curto período de taxa decrescente para uma faixa entre 0 e 2 da umidade em base seca para temperatura de secagem de 50 °C, de 1 a 6 a 60° C e de 2 a 9 a 70 °C, confirmando a análise da cinética de secagem em todas as temperaturas analisadas.

4.5.1 Ajustes matemáticos dos dados experimentais

Na Tabela 6 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) para a temperatura de 50 °C. Com exceção do modelo de Wang-Singh, que forneceu valores de RU (razão da umidade) negativos para alguns tempos.

Tabela 6 - Resultados dos ajustes aos modelos estudados na temperatura de 50 °C

Modelos	Parâmetros dos modelos matemáticos						
	k	n	a	b	c	R ²	SQ
Newton	0,0307	-	-	-	-	0,9242	0,5414
Page	0,0073	1,4174	-	-	-	0,9455	0,3890
Page Modificado	0,0054*	1,4952	0,9734	-	-	0,9460	0,3851
Henderson e Pabis	0,0332	-	1,0707	-	-	0,9299	0,5007
Logaritmo	0,0307	-	1,0983	-	-0,0366*	0,9316	0,4880
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0044*	1,5623	0,9679	0,0002*	-	0,9475	0,3751

*Coeficientes não foram estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95%.
k- coeficiente de secagem; a, n e b e c- parâmetros dos modelos;

De acordo com a Tabela 6, os modelos de Page modificado, Logaritmo e Midilli, Kucuk e Yapar apresentaram coeficientes que não são estatisticamente significativos a um nível de

confiança de 95%, por tanto, não existe evidência estatística para utilizar esses modelos. Sendo assim, os modelos que podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma das folhas de alecrim com espumante juá são Newton, Page e Henderson e Pabis.

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 50 °C

Modelos matemáticos	Equações teóricas
Newton	$RU = e^{-0,030732t}$
Page	$RU = e^{-0,007316t^{1,417378}}$
Henderson e Pabis	$RU = 1,070666e^{-0,033198t}$

t - tempo de secagem (min); *k*- coeficiente de secagem; *a*, *n* e *b* e *c*- parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X0

Nas Figuras 24, 25 e 26 estão representadas, respectivamente, as curvas de secagem com os ajustes dos modelos matemáticos de Page, Henderson e Paris e Newton, seguindo a ordem de maior valor de coeficiente de determinação (R^2).

Figura 24 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 50 °C.

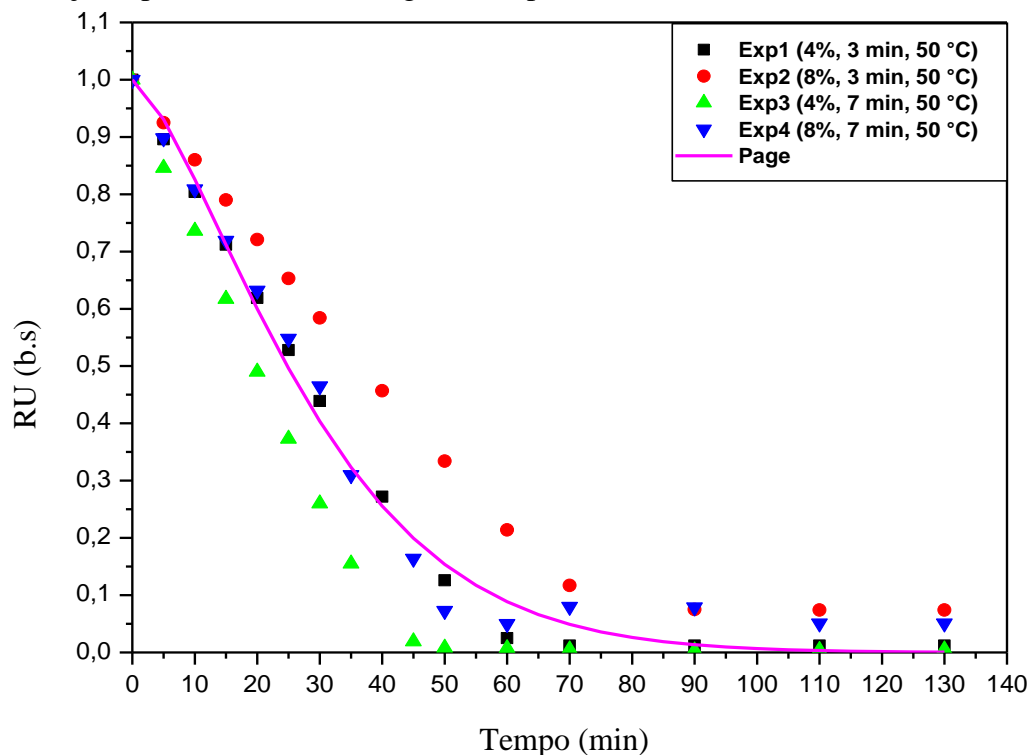


Figura 25 - Ajuste para o modelo de Henderson e Paris na temperatura de 50 °C.

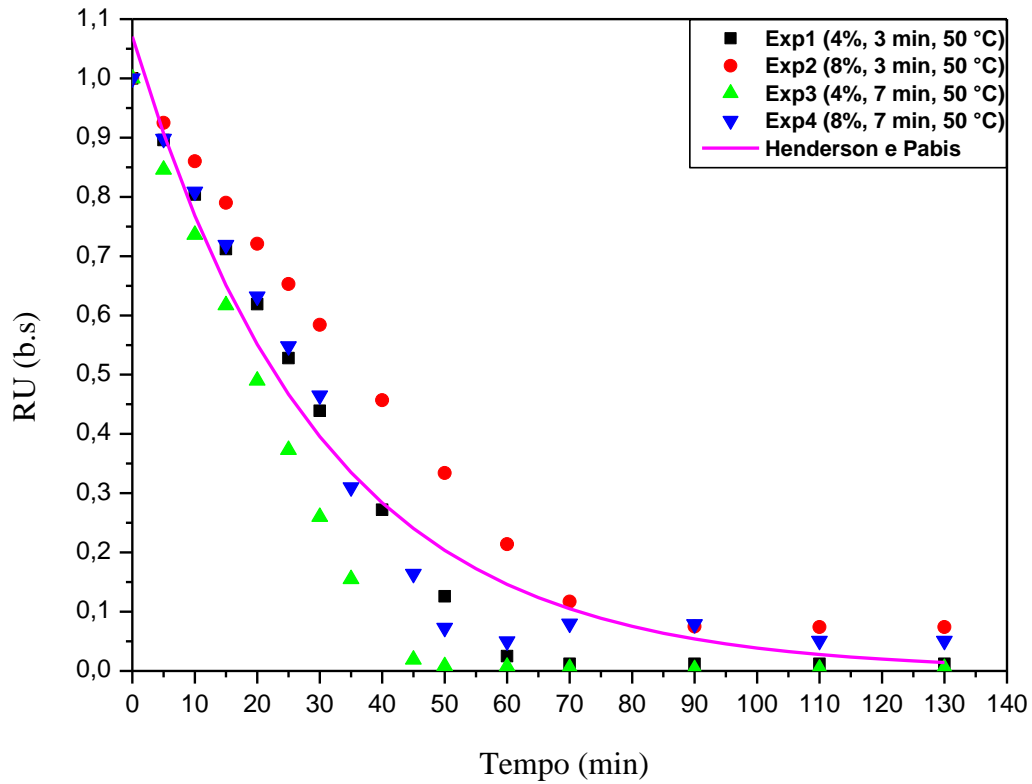
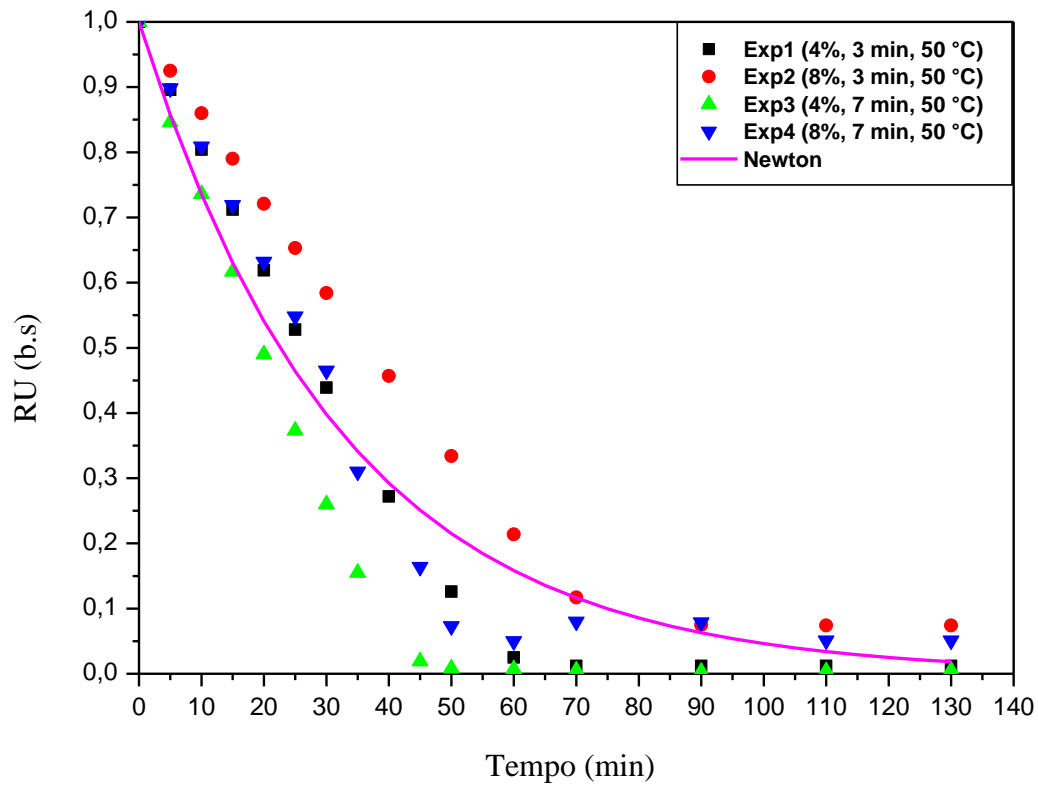


Figura 26 - Ajuste para o modelo de Newton na temperatura de 50 °C.



Os coeficientes encontrados para as equações de cada um dos modelos testados, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e soma quadrática residual (SQ) para a temperatura de 60 °C estão descritos na Tabela 8. O modelo de Wang- Singh foi descartado pois forneceu valores de RU negativo para alguns tempos.

Tabela 8 - Resultados dos ajustes aos modelos estudados na temperatura a 60 °C

Modelos	Parâmetros dos modelos matemáticos						
	k	n	a	b	c	R ²	SQ
Newton	0,0460	-	-	-	-	0,9680	0,1223
Page	0,0186	1,2968	-	-	-	0,9793	0,0791
Page Modificado	0,0186	1,2960	1,0003	-	-	0,9793	0,0791
Henderson e Pabis	0,0486	-	1,0522	-	-	0,9714	0,1094
Logaritmo	0,0495	-	1,0469	-	0,0072*	0,9715	0,1090
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0113	1,4780	0,9836	0,0008	-	0,9873	0,0484

*Coeficientes não foram estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95%.
k- coeficiente de secagem; *a*, *n* e *b* e *c*- parâmetros dos modelos;

De acordo com a Tabela 8, o modelo Logaritmo apresentou coeficiente que não é estatisticamente significativo a um nível de confiança de 95%, por tanto, não existe evidência estatística para utilizar esse modelo. Sendo assim, os modelos que podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma das folhas de alecrim com espumante juá são Newton, Page, Page modificado, Henderson e Pabis. e Midilli, Kucuk e Yapar. Também pela Tabela 8, observa-se que o modelo que apresentou melhor ajuste aos dados experimentais à temperatura de secagem de 60 °C foi o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 60 °C.

Modelos matemáticos	Equações teóricas
Newton	$RU = e^{-0,045987t}$
Page	$RU = e^{-0,018563t^{1,296778}}$
Page modificado	$RU = 1,000332e^{-0,018613t^{1,296027}}$
Henderson e Pabis	$RU = 1,052192e^{-0,048616t}$
Midilli, Kucuk e Yapar	$RU = 0,983613e^{-0,011295t^{1,478008}} + 0,000817 * t$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a , n e b e c - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X0

Nas Figuras 27, 28, 29, 30 e 31 estão representadas, respectivamente, as curvas de secagem com os ajustes dos modelos matemáticos de são Midilli, Kucuk e Yapar, Page modificado, Page, Henderson e Pabis e Newton e, seguindo a ordem de maior valor de coeficiente de determinação (R^2).

Figura 27- Ajuste para o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar na temperatura de 60 °C.

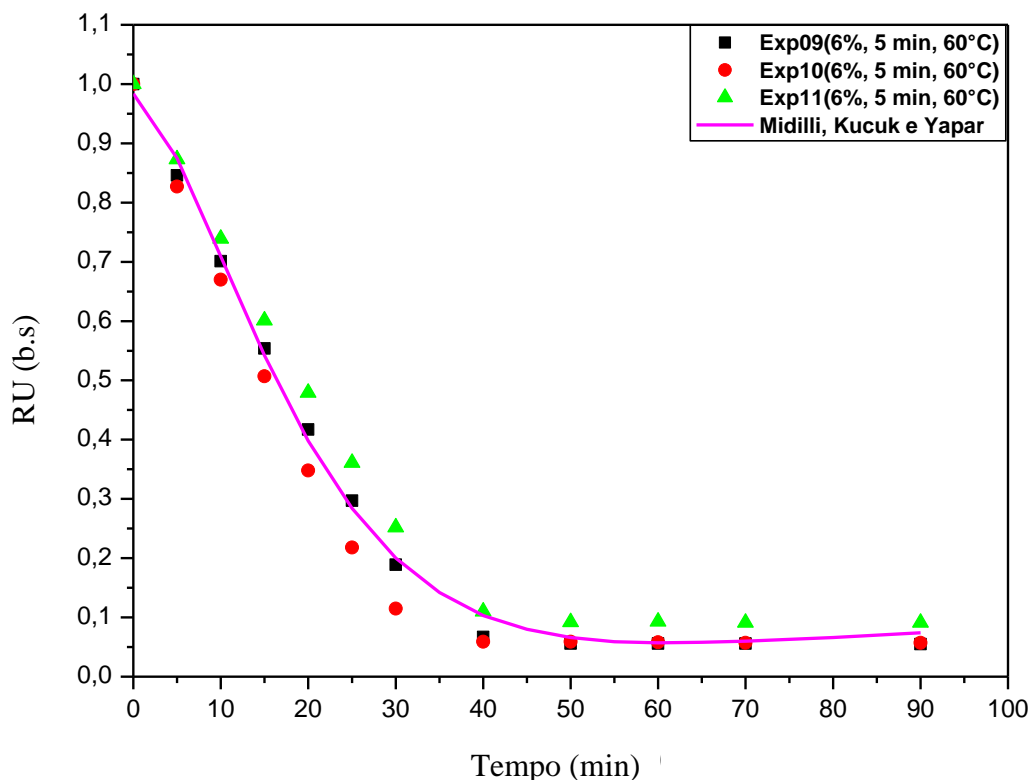


Figura 28 - Ajuste para o modelo de Page modificado na temperatura de 60 °C

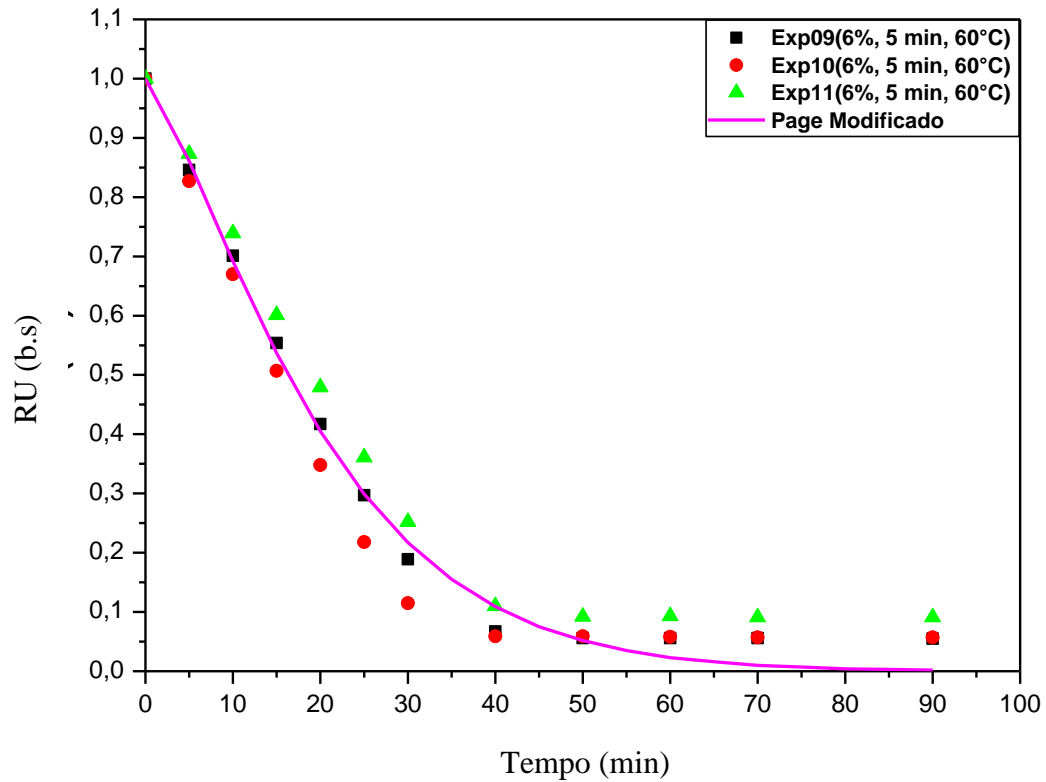


Figura 29 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 60 °C.

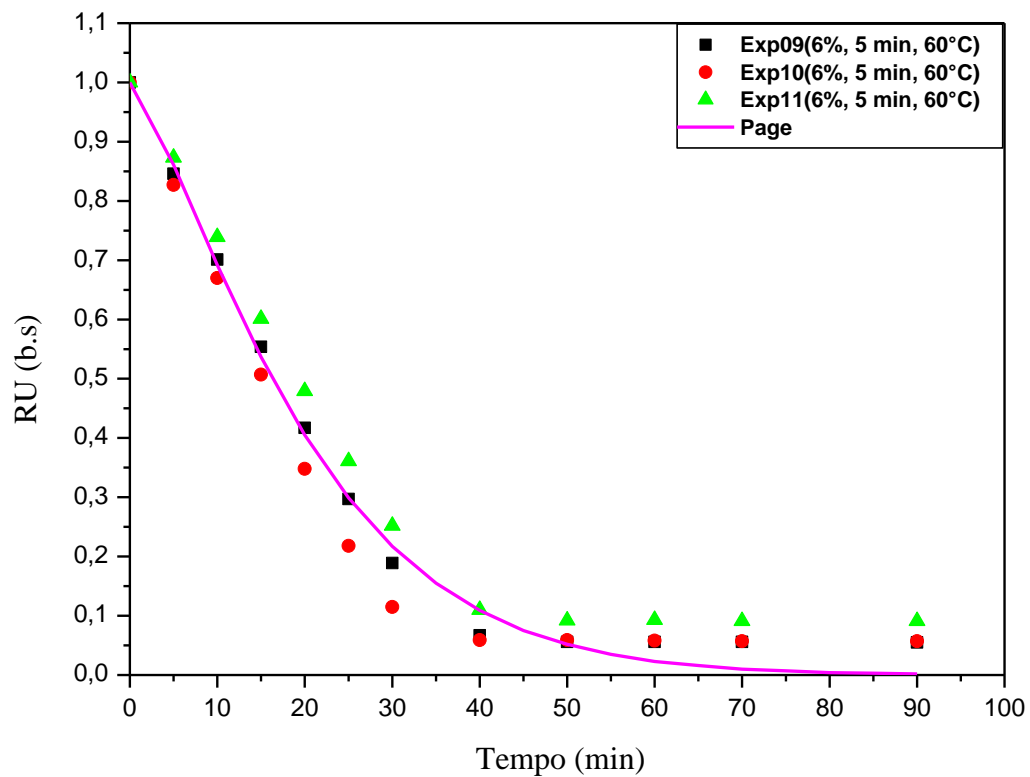


Figura 30 - Ajuste para o modelo de Henderson e Pabis na temperatura de 60 °C.

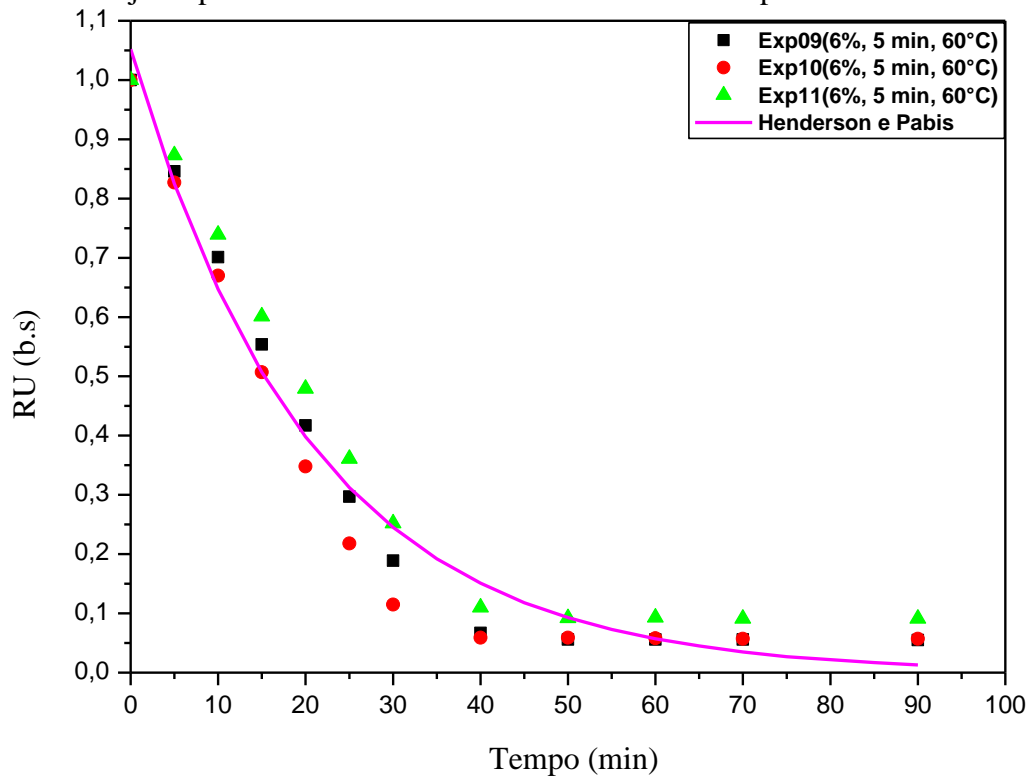
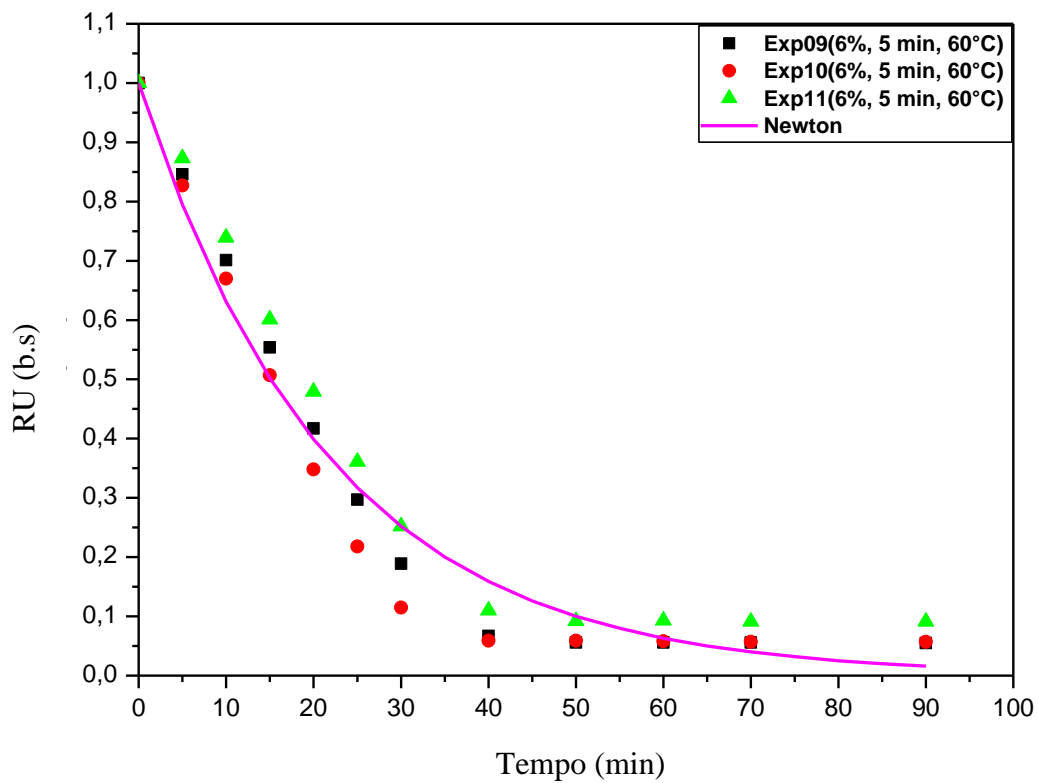


Figura 31 - Ajuste para o modelo de Newton na temperatura de 60 °C



Na Tabela 10, para a secagem a 70 °C, 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). Com exceção do modelo de Wang-Singh, que forneceu valores de RU (razão da umidade) negativos para alguns tempos.

Tabela 10 - Resultados dos ajustes aos modelos estudados na temperatura de 70 °C

Modelos	Parâmetros dos modelos matemáticos						
	k	n	a	b	c	R^2	SQ
Newton	0,0509	-	-	-	-	0,9248	0,3833
Page	0,0122	1,4758	-	-	-	0,9461	0,2746
Page Modificado	0,0104*	1,5217	0,9840	-	-	0,9463	0,2735
Henderson e Pabis	0,0539	-	1,0592	-	-	0,9288	0,3630
Logaritmo	0,0521	-	1,0711	-	-0,0153*	0,9292	0,3610
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0073*	1,6564	0,9735	0,0007	-	0,9521	0,2443

*Coeficientes não foram estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95%.
 k- coeficiente de secagem; a, n e b e c- parâmetros dos modelos;

De acordo com a Tabela 10, os modelos de Page modificado, Logaritmo e Midilli, Kucuk e Yapar apresentaram coeficientes que não são estatisticamente significativos a um nível de confiança de 95%, por tanto, não existe evidência estatística para utilizar esses modelos. Sendo assim, os modelos que podem ser utilizados para representar o processo de secagem em camada de espuma das folhas de alecrim com espumante juá são Newton, Page e Henderson e Pabis.

As equações ajustadas dos modelos que apresentaram coeficientes estatisticamente significativos estão representadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Equações dos modelos matemáticos estatisticamente significativos à cinética de secagem na temperatura de 70 °C

Modelos matemáticos	Equações teóricas
Newton	$RU = e^{-0,050913t}$
Page	$RU = e^{-0,012183t^{1,475805}}$
Henderson e Pabis	$RU = 1,059227e^{-0,053917t}$

t - tempo de secagem (min); k - coeficiente de secagem; a, n e b e c - parâmetros dos modelos; RU - Razão de Umidade = X/X0

As Figuras 32, 33 e 34 representam, respectivamente, as curvas de secagem com os ajustes dos modelos matemáticos de Page, Newton e Henderson e Paris, seguindo a ordem de maior valor de coeficiente de determinação (R^2).

Figura 32 - Ajuste para o modelo de Page na temperatura de 70 °C.

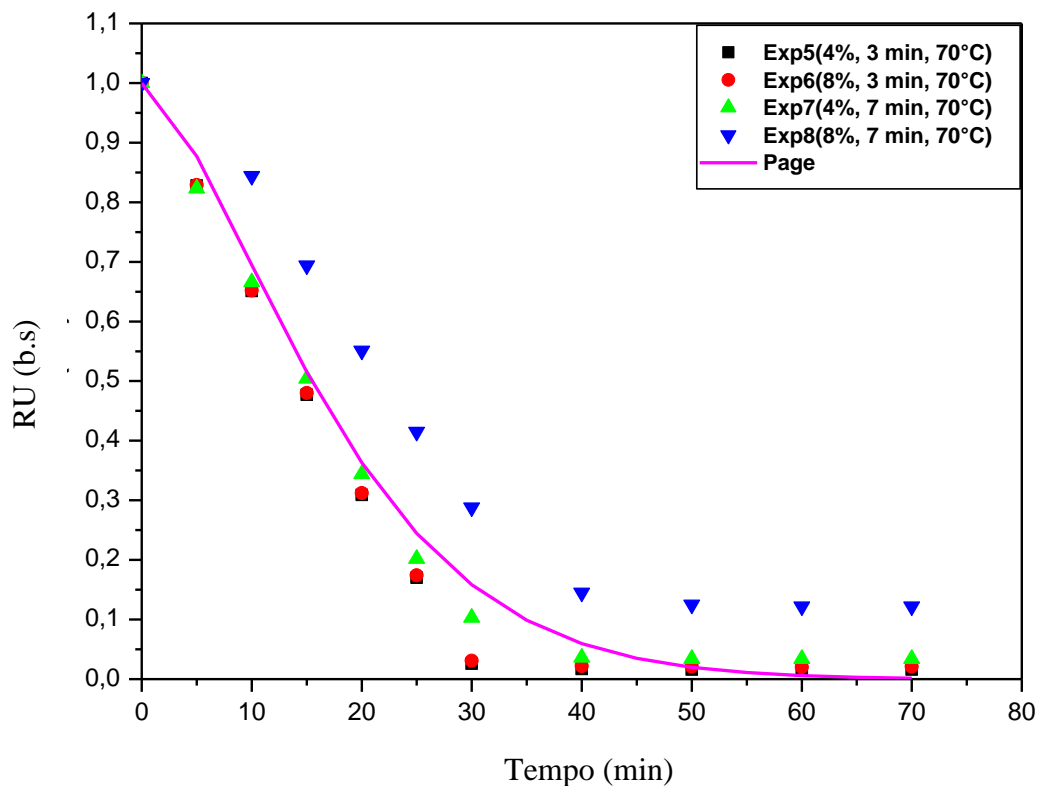


Figura 33 - Ajuste para o modelo de Newton na temperatura de 70 °C.

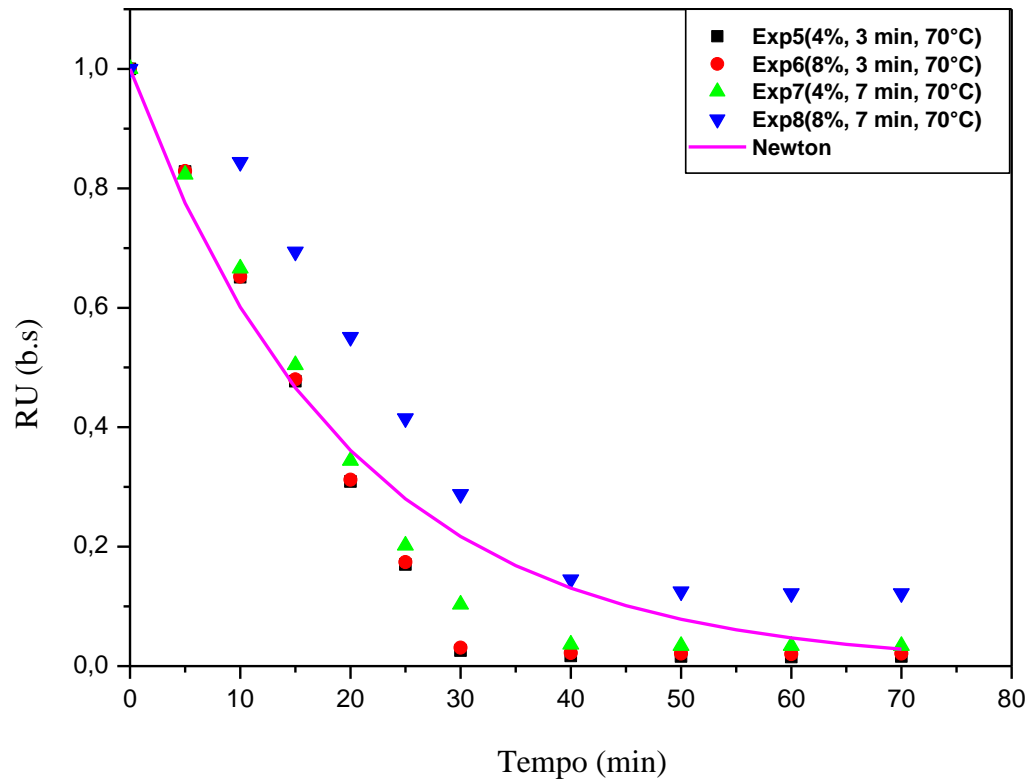
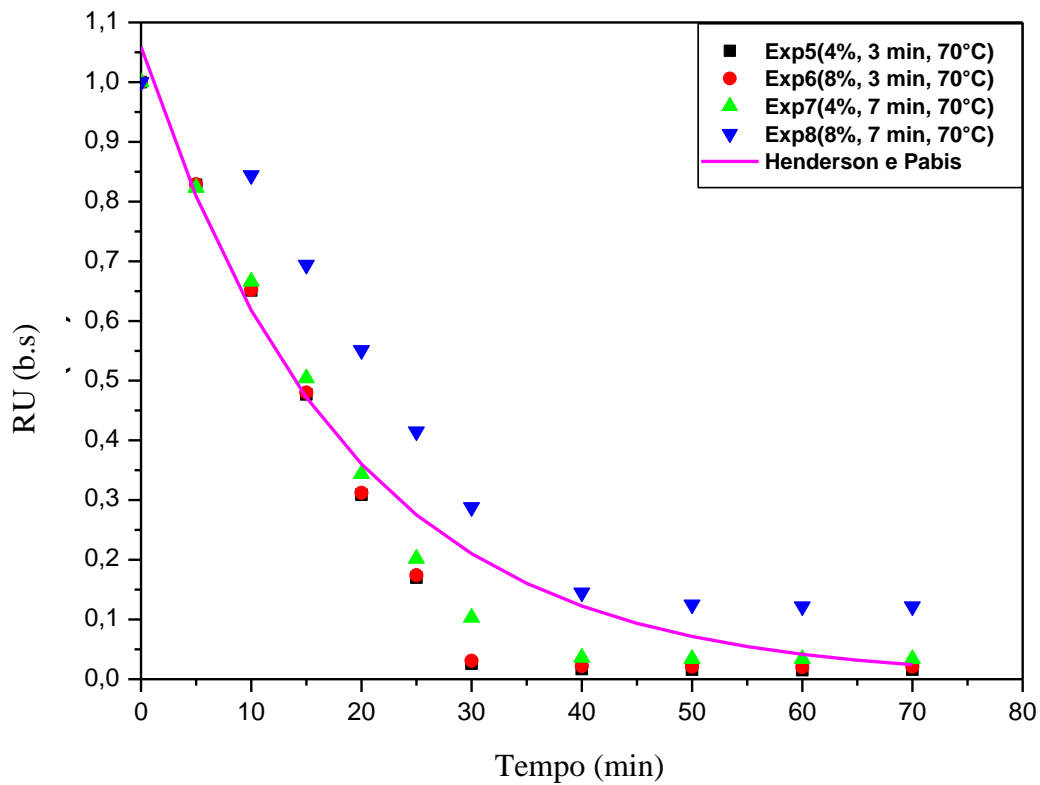


Figura 34- Ajuste para o modelo de Henderson e Pabis na temperatura de 70 °C



Após análise das Tabelas 6, 8 e 10, o modelo de Page foi o que apresentou maior coeficiente de determinação (R^2) e menor erro padrão (SQ), dentre os modelos com coeficientes estatisticamente significativos nas três temperaturas de secagem. Desta forma, foi o modelo matemático que mais se ajustou ao agrupamento dos dados analisados, mesmo não sendo tão preciso (R^2 baixo). Esse fato ocorre por erros de análise, pois a umidade do dia, a temperatura e a precisão da temperatura da estufa influenciam os dados de secagem e podem ter interferido nos resultados.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ

Nesse processo de secagem em camada de espuma foi obtido como produto final o pó do alecrim. Esse produto final resultou no depósito de pedido de patente de registro BR BR 10 2020 019512 3.

4.6.1 Análise física dos pós

Na Tabela 12 estão dispostos os valores do rendimento teórico e do índice de solubilidade em água dos pós da folha de alecrim com juá obtidos no final de cada secagem.

Tabela 12 – Resultados para o rendimento teórico (RT) e do índice de solubilidade em água (ISA) dos pós da folha de alecrim.

Experimentos	C (%)	tag (minutos)	T (°C)	RT (%)	ISA (%)
1	4	3	50	90,89	21,37 ± 0,02
2	8	3	50	88,49	20,35 ± 0,01
3	4	7	50	97,55	20,50 ± 0,00
4	8	7	50	92,42	16,54 ± 0,02
5	4	3	70	92,79	12,60 ± 0,06
6	8	3	70	88,41	16,60 ± 0,01
7	4	7	70	92,33	22,06 ± 0,01
8	8	7	70	92,52	14,37 ± 0,01
9	6	5	60	91,08	14,15 ± 0,01
10	6	5	60	93,30	14,02 ± 0,02
11	6	5	60	89,89	14,30 ± 0,01
CVL					10,71 ± 0,08

C - concentração; tag- tempo de agitação T - temperatura; CVL - composto vegetal liofilizado das folhas de alecrim

A secagem em camada de espuma das folhas de alecrim utilizando a entrecasca do juá como espumante apresentam alto rendimento, diferentemente da folha de outras plantas citadas na literatura (LEITE, 2018; LIMA, 2020, OLIVEIRA, 2018).

Pelos resultados de solubilidade mostrados na Tabela 6, observou-se que os valores entre os experimentos estão muito próximos, variando do menor valor no experimento 5, com $12,60 \pm 0,06$ ao maior valor no experimento 7 (menor quantidade de espumante e maior tempo de agitação e temperatura), com $22,06 \pm 0,01$.

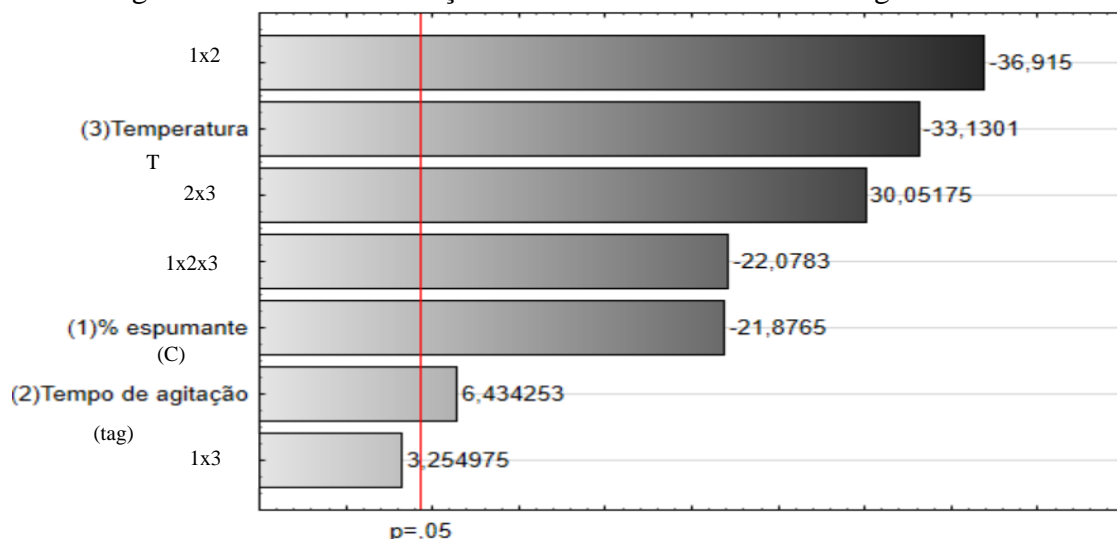
Comparando com a literatura de secagem em camada de espuma, os resultados expostos na Tabela 6 foram baixos, indicando a pouca solubilidade em água (VISSOTTO et al., 2006; LEITE, 2018; LEITE, 2020, OLIVEIRA, 2018). Este resultado é indesejado caso o produto seja aplicado em formulações base água (seja alimentícia ou cosmética), mas que pode ser solucionado com a adição de um dispersante na fórmula.

Pereira (2008), Ferreira (2017), Oliveira (2018), Leite (2018) e Leite (2020) são exemplos de estudos em camada de espuma de folhas com espumantes diferentes. O juá é um espumante natural, estudado por Moreira (2020) com solubilidade em torno de 45 % mostrando que o baixo valor encontrado do alecrim não foi devido a ele.

Já os rendimentos dos 11 experimentos apresentaram alto rendimento (valor médio de 91,79%), com o maior sendo 97, 55% e o menor 88, 41%. Diferentemente da folha de outras plantas citadas na literatura (LEITE, 2018; LEITE, 2020, OLIVEIRA, 2018).

Pelo diagrama de Pareto, Figura 35, observa-se que todas as variáveis são estatisticamente significativas, e a interação entre elas também, exceto a interação concentração de espumante e temperatura de secagem.

Figura 35- Diagrama de Pareto em relação ao índice de solubilidade da água.



4.6.2 Análises físico-químicas dos pós

Na Tabela 13 estão dispostos os valores das atividades de água (a_w), das cinzas e do pH dos pós das folhas do alecrim obtidos na secagem em camada de espuma.

Tabela 13 – Resultados para atividades de água (a_w), cinzas e pH dos pós das folhas de alecrim.

Experimentos	C (%)	tag (minutos)	T (°C)	a_w	Cinzas (%)	pH
1	4	3	50	0,406 ± 0,012	13,97 ± 0,10	6,08 ± 0,02
2	8	3	50	0,352 ± 0,023	10,45 ± 0,08	5,93 ± 0,05
3	4	7	50	0,284 ± 0,039	13,09 ± 0,06	5,99 ± 0,02
4	8	7	50	0,480 ± 0,010	9,92 ± 0,11	6,13 ± 0,02
5	4	3	70	0,346 ± 0,049	12,18 ± 0,07	6,32 ± 0,06
6	8	3	70	0,307 ± 0,039	10,54 ± 0,05	6,17 ± 0,01
7	4	7	70	0,228 ± 0,040	12,78 ± 0,03	6,11 ± 0,01
8	8	7	70	0,222 ± 0,033	10,38 ± 0,02	6,27 ± 0,01
9	6	5	60	0,536 ± 0,005	11,89 ± 0,08	6,07 ± 0,06
10	6	5	60	0,441 ± 0,008	11,57 ± 0,05	6,73 ± 0,01
11	6	5	60	0,230 ± 0,025	11,76 ± 0,03	6,35 ± 0,01
CVL				0,502 ± 0,012	14,34 ± 0,04	5,65 ± 0,03

C - concentração; tag - tempo de agitação T - temperatura; CVL - composto vegetal liofilizado das folhas do alecrim

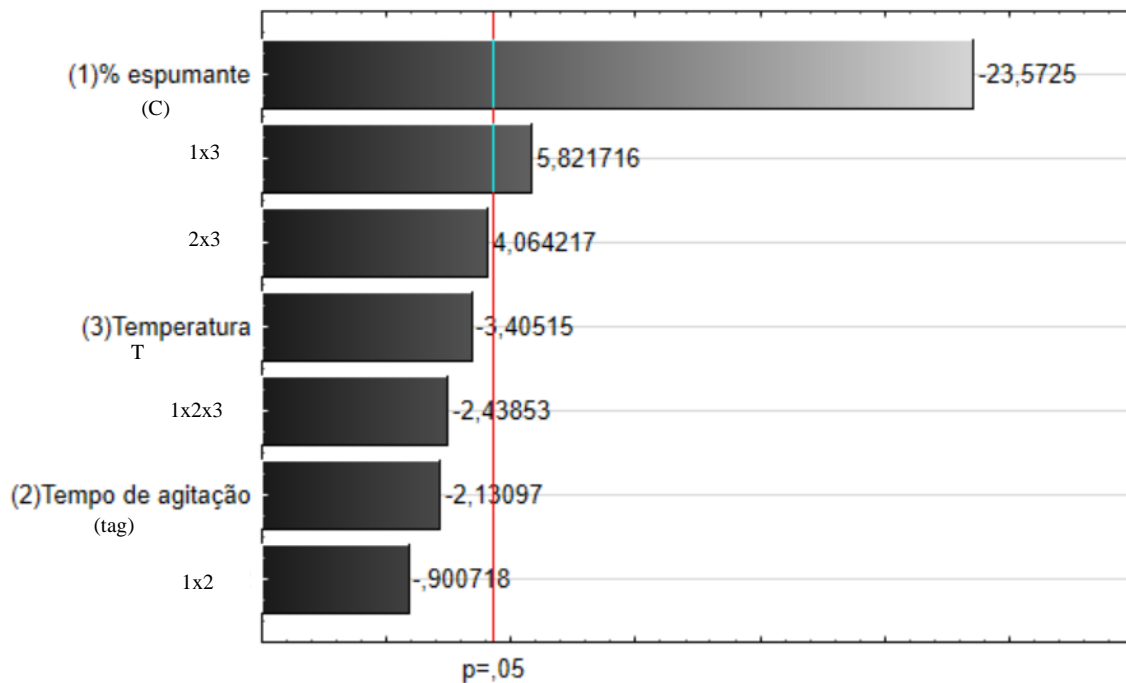
O maior valor de atividade de água foi observado no experimento 9, no entanto, como ele é um dos pontos centrais e os outros dois (experimentos 10 e 11) obtiveram valores menores, é possível concluir que houve problema, como a calibragem do equipamento ou umidade do ar no dia das análises, que não foram controladas.

Pelos outros resultados, foi observado que a temperatura de secagem interferiu na atividade de água, pois o menor valor da a_w foi encontrado no experimento 8.

Estudos apontam que em a_w menores que 0,3 as moléculas de água estão fortemente ligadas às moléculas do produto, não tendo água livre para proliferação de microrganismos (CELESTINO, 2010). Entretanto, Garcia (2004) descreveu no seu estudo que a_w inferior a 0,6 já é suficiente para evitar a proliferação microbiana.

De acordo com os dados da Tabela 13, observou-se que o maior teor de cinzas foi de $13,97 \pm 0,10\%$ para o experimento 1 (ponto mínimo) e o menor valor encontrado foi de $9,92 \pm 0,11\%$ no experimento 4, observando que o teor de cinzas do pó diminui com o aumento da concentração do espumante, o que pode ser confirmado pela Figura 36, na qual a concentração de espumante (com sinal negativo, ou seja, inversamente proporcional) e a interação entre esta variável e a temperatura de secagem (sinal positivo, ou seja diretamente proporcional) são estatisticamente significativas, influenciando a resposta. Todos os experimentos apresentaram valores de teor de cinzas próximos entre si, sendo esses valores inferiores ao valor de teor de cinzas para o pó liofilizado.

Figura 36 - Diagrama de Pareto para teor de cinzas.



Ainda pela Tabela 13 foi observado que praticamente não existe diferença entre o pH dos pós obtidos em todas as condições da secagem em camada de espuma e o pH do pó liofilizado, sendo todos os pós obtidos levemente ácidos. Também foi obtido pH levemente ácido para a folha in natura do alecrim, $6,02 \pm 0,08$.

Na Tabela 14 estão dispostos os valores dos sólidos solúveis totais (SST), da acidez total titulável (ATT) e das umidades (X) em base úmida dos pós das folhas do alecrim obtidos na secagem em camada de espuma.

Tabela 14 – Resultados para sólidos solúveis totais (SST), acidez total titulável (ATT) e umidade (X) dos pós da folha de alecrim.

Experimentos	C (%)	tag (minutos)	T (°C)	SST (°Brix)	ATT (g de ácido cítrico/100g)	X (b.u)
1	4	3	50	19,0 ± 0,8	0,015±0,004	7,94±0,47
2	8	3	50	17,0±0,0	0,020±0,002	5,84±0,11
3	4	7	50	17,7±0,5	0,020±0,002	8,08 ±0,22
4	8	7	50	18,7±0,5	0,032 ± 0,001	7,97±0,31
5	4	3	70	16,3±0,9	0,016±0,001	6,96±0,62
6	8	3	70	19,0±0,0	0,032±0,001	6,55±0,58
7	4	7	70	19,7±0,5	0,032±0,001	8,07±0,12
8	8	7	70	20,7±0,5	0,032±0,002	3,35±0,70
9	6	5	60	17,7±0,5	0,018±0,001	8,70±0,66
10	6	5	60	17,7±0,5	0,018±0,001	8,01±0,10
11	6	5	60	17,0±0	0,017±0,001	7,00±0,22
CVL				-	0,010±0,000	4,91 ±0,15

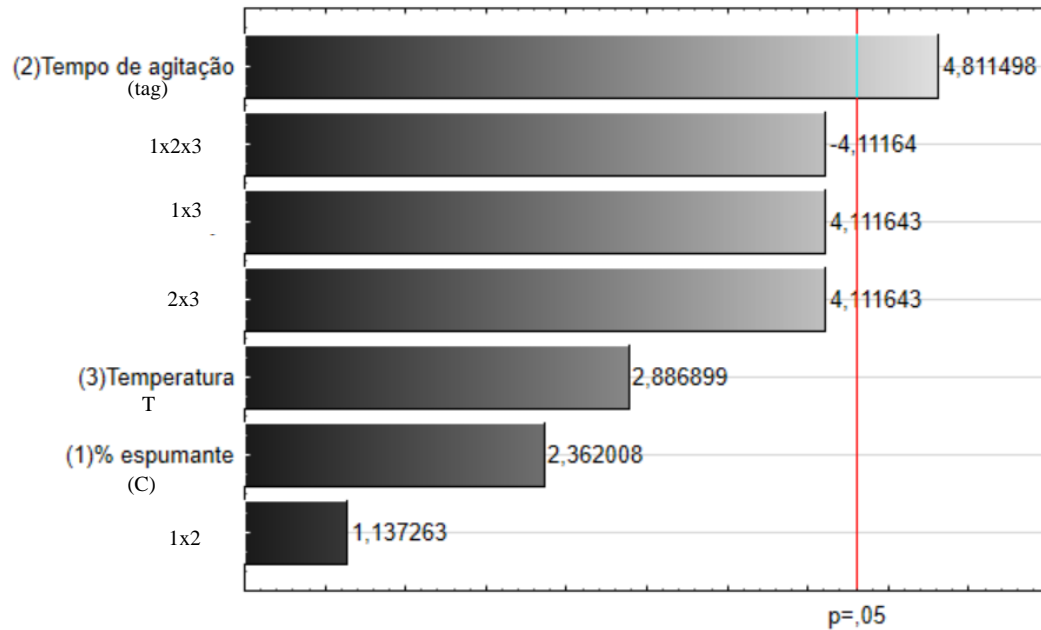
C - concentração; tag- tempo de agitação T – temperatura; CVL – composto vegetal liofilizado das folhas do alecrim

Pela Tabela 14 foi observado que o teor de sólidos solúveis totais dos pós teve uma variação entre 16,3 ±0,9 e 20,7±0,5, sendo o menor valor obtido para o experimento 5 (maior temperatura de secagem e menores porcentagem de espumante e tempo de agitação). Já o experimento 8, correspondente ao ponto máximo, possui maior valor de sólidos solúveis totais.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o teor de sólidos solúveis totais é um importante fator de qualidade quanto ao sabor dos produtos e ele é usado como medida indireta do teor de açúcares. Assim, os baixos valores SST obtidos se devem a baixa quantidade de açúcares presentes na composição química do alecrim. Comparando com outras plantas, Leite (2018) estudou a hortelã miúda concluindo que esta planta apresenta ainda menos SST do que o alecrim, diferentemente das folhas de graviola e noni, relatadas por Oliveira (2018) e Leite (2020), respectivamente, que apresentaram sólidos solúveis totais muito mais altos.

Pelo diagrama de Pareto (Figura 37) pode ser observado que apenas a variável tempo de agitação é estatisticamente significativa para a resposta SST, e com sinal positivo, ou seja, é diretamente proporcional.

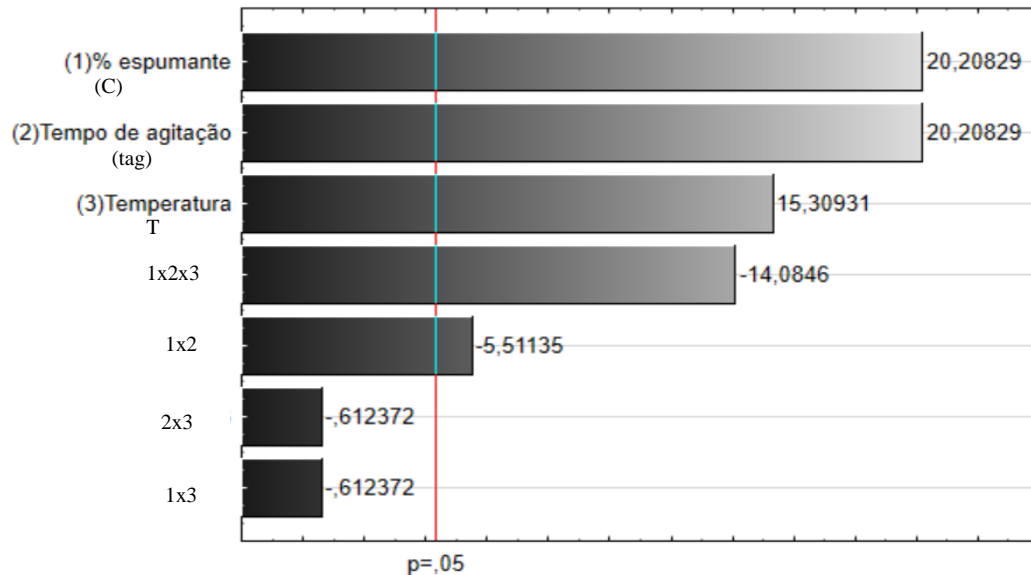
Figura 37 - Diagrama de Pareto dos sólidos solúveis totais (SST).



Para a acidez total titulável (Tabela 14) dos pós foi observado que se encontram entre 0,015 e 0,032. Correlacionando a acidez com a quantidade de espumante foi observado que o valor da acidez é diretamente proporcional a quantidade de espumante e ao tempo de agitação, dessa forma o experimento com maior acidez é o 8 (8% de espumante e 7 minutos de agitação). A temperatura é outra variável diretamente proporcional a acidez, quanto maior a temperatura, mais ácido é o pó. Sendo assim, as três variáveis independentes são estatisticamente significativas com sinal positivo, como mostrado na Figura 38, além disso, a interação entre as três variáveis e a concentração de espumante com o tempo de agitação também interferem, mas com nível negativo (inversamente proporcionais). Comparando com o valor da amostra liofilizada, o processo de secagem em camada de espuma apresenta valor maior de acidez total titulável.

Leite (2020) e Oliveira (2018) encontram em seu trabalho de secagem em camada de espuma da folha do noni e da graviola, respectivamente, valores médios entre 1 e 2 g de ácido cítrico por 100 g de pó, bem acima do encontrado na folha de alecrim.

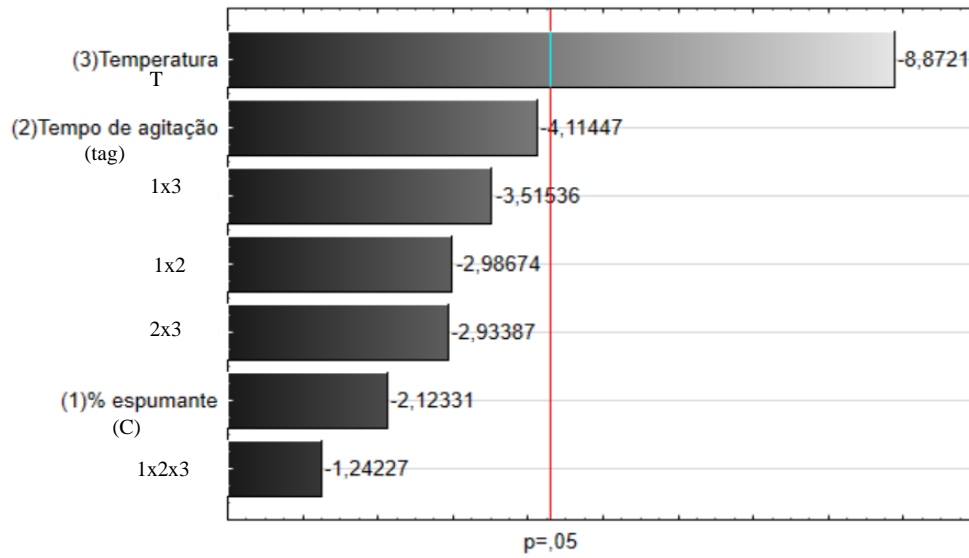
Figura 38 - Diagrama de Pareto para acidez total titulável (ATT).



Ainda, de acordo com os resultados mostrados na Tabela 14, foi observado que o menor teor de umidade entre os pós analisados foi $3,47 \% \pm 0,70$ em base úmida, no experimento 8 (8% de emulsificante, 7 minutos e $70\text{ }^{\circ}\text{C}$), e o maior valor de umidade foi de $8,79 \pm 0,21$ em base úmida no experimento 3, com as características de 4% de agente espumante, 7 minutos de agitação e temperatura de secagem de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Portanto, o menor teor de umidade é encontrado no ponto máximo do planejamento experimental.

Pelo diagrama de Pareto (Figura 39), a variável temperatura de secagem é a única variável estatisticamente significativa para a umidade do pó em base úmida e com nível negativo, ou seja, inversamente proporcional para intervalo de confiança de 95%.

Figura 39 - Diagrama de Pareto para teor de umidade em base úmida.



4.6.3 Citotoxicidade

Devido às limitações desse experimento, não foi possível realizá-lo em todos os 11 experimentos. Por isso, foi decidido conduzir o experimento apenas com o ponto máximo do planejamento experimental fatorial completo (experimento 8), pela linha de pensamento de que se fosse tóxica iria replicar no ponto central e no ponto mínimo.

Na Tabela 15 são mostradas as médias da porcentagem de *Artemia salina* mortas encontradas em cada amostra, já que o experimento foi realizado em triplicata, avaliado em 4 momentos diferentes:

- *Artemias* inseridas nos tubos de ensaio de cada concentração: 0 hora;
- 3 horas após inserir as *A. salina*;
- 6 horas após inserir as *A. salina*;
- 24 horas após inserir as *A. salina*.

Tabela 15 - Concentrações das soluções com *Artemia salina*.

Ensaio	Concentração de pó de alecrim (ppm)	Porcentagem de <i>Artemias salina mortas</i> (%)			
		0 horas	3 horas	6 horas	24 horas
1	2000	0	0	26,7	93,3
2	1000	0	0	3,3	90
3	500	0	0	0	0
4	250	0	0	0	0
5	125	0	0	0	3,3
6	62,5	0	0	1,6	3,3
7	31,25	0	0	0	0
8	15,62	0	0	0	0
Branco	-	0	0	0	0,3

Pela Tabela 15, quando as larvas de *A salina* foram inseridas nos tubos de ensaio não ocorreu morte imediata de nenhuma larva. Depois de 3 horas a situação não mudou, mas nas três maiores concentrações (2000 ppm, 1000 pm e 500 ppm) notou-se que as larvas estavam vivas, mas no fundo do tubo de ensaio. Já com 6 horas de análise as larvas começaram a morrer com a concentração de 2000 ppm e 1000 ppm, e na concentração de 62,5 ppm houve uma mortalidade de 1,6 % que pode ter ocorrido por uma fragilidade das larvas. Em 24 horas de análise observou mais de 90% de mortalidade na concentração de 2000 ppm e 90% na concentração de 1000 ppm, a fragilidade das larvas citadas no ensaio 6 se confirma na mortalidade de 3,3% em 24 horas (assim como o ensaio 5). Porém, abaixo de 500 ppm não houve mortalidade, com indicação que o pó de alecrim com espumante já é não tóxico para concentrações inferiores a 500 ppm. Como o estudo foi realizado no ponto máximo, então esse resultado também se aplica aos outros experimentos do planejamento experimental fatorial completo.

5 CONCLUSÃO

Após testes realizados entre emulsificantes concluiu-se que o pó da entrecasca do juá seca em camada de espuma foi o melhor espumante, apresentando uma espuma estável com uma menor concentração.

A solubilidade do produto em água foi obtida baixa, com melhor resultado de $22,06 \% \pm 0,01$ no experimento 7 (apresenta menor concentração de espumante e maior tempo de agitação e temperatura de secagem), indicando dificuldade ao incorporar esse produto em fórmulas aquosas. Outra análise realizada foi a de sólidos solúveis totais, que apresentou um valor entre $16,3 \pm 0,9$ ° Brix e $20,7 \pm 0,5$ ° Brix. Já o teor de matéria inorgânica presente foi baixo, entre $13,97 \pm 0,10\%$ e $9,92 \pm 0,11\%$, mostrando a baixa concentração de minerais presentes na amostra.

O pH para todos os 11 experimentos apresentaram valores próximos e levemente ácido (em torno de 6,5). A atividade de água apresentou menor valor de $0,222 \pm 0,33$, o maior valor de acidez titulável foi de $0,032 \pm 0,001$ e o teor de umidade com o menor valor de $3,47 \% \pm 0,70$ no ponto máximo do planejamento experimental (experimento 8), indicando que as variáveis do experimento 8 são as mais indicadas para prolongar a vida útil do produto.

Sobre os pós obtidos em cada um dos experimentos, obteve-se um elevado rendimento em todos os 11 experimentos, valor médio de 91,79%, concluindo que a secagem em camada de espuma para as folhas de alecrim é um processo viável.

Como o objetivo de aplicação do alecrim seco é a indústria alimentícia e cosmética, foi analisada a citotoxicidade do ponto máximo do planejamento experimental (com o máximo valor nas três variáveis independente), em que se concluiu que abaixo da concentração de 500 ppm o pó seco em camada de espuma de alecrim com o aditivo juá não é tóxico, desta forma o estudo pode continuar.

De acordo com todas as análises citadas, a melhor condição encontrada para a fabricação em larga escala foi do ponto máximo (8%, 7 min, 70° C), pois apresentou a menor atividade de água (a_w), alto rendimento (média de 91,79%), baixo teor de umidade, maior acidez e segundo melhor tempo de secagem, fatores determinantes para minimizar a proliferação microbiológica e aumentar o tempo de prateleira.

Portanto, após os resultados desse estudo tem-se que a técnica de secagem em camada de espuma é indicada para a obtenção do pó da folha de alecrim com o espumante juá, pois além de ser um processo rápido e de baixo custo, permite a preservação das características da folha,

podendo ser aplicado nas indústrias alimentícia e cosmética.

O estudo do ajuste matemático da cinética de secagem propõe a utilização do modelo de Page para a secagem em camada de espuma das folhas de alecrim com espumante juá. Apesar do modelo não ter um ajuste com coeficiente de determinação muito alto (para temperatura de 50 °C e 70 °C com R^2 de 0,95 e R^2 de 0,98 na secagem à 60 °C).

REFERÊNCIAS

- AMARAL, G. P. **Propriedades de proteção gastrointestinal da *Rosmarinus officinalis* L. em associação a testes microbiológicos e antioxidantes *in vitro* e *ex vivo***. 115f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016
- AZAMBUJA, W. Quimiotipos. Leosessenciais. RG. 2018
- 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.
- BARBOSA, S. J. Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG, 2010.
- BARBOSA, V.; SCHEIFFER, G. F. C.; CARDOZO, A. G. L.; PIETRUCHINSKI, E.; SANTOS, C. Z.; SILVEIRA, D. Avaliação da atividade antibacteriana do óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* L. e tintura de própolis frente à bactéria causadora da acne *Propionibacterium acnes*. **Rev. Bras. Pl. Med.**, v. 16, n. 2, p. 169-173, 2017.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 19, de 5 de maio de 2010. Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas informarem à ANVISA a quantidade de fenilalanina, proteína e umidade de alimentos, para elaboração de tabela do conteúdo de fenilalanina em alimentos, assim como disponibilizar as informações nos sítios eletrônicos das empresas ou serviço de atendimento ao consumidor (SAC). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 05 de maio de. 2010.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 273, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de boas práticas de fabricação para misturas para o preparo de alimentos e alimentos prontos para o consumo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 de dezembro de. 2005.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. A Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. **Journal of the American society**. p. 1723-1732. 1940
- CARVALHO, M. S. **Produção de Polpa de Abóbora em pó pelo processo de secagem em leito de espuma**. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- CAVALCANTE, M. D.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C.; FREITAS, B. S. M.; CAGNIN, C.; OLIVEIRA, D. S. **Isotermas e calor isostérico da polpa do cajá em leito de espuma**. **Rev. Brasileira de Eng Agrícola e Ambiental**. v. 22, n.6, p. 436-441, 2018
- CAVALCANTE C. E. B., RODRIGUES S., AFONSO M. R. A., COSTA J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Braz. J. Food Technol.**, v. 20, 2017.

CELESTINO, S. M. Princípios de Secagem de Alimentos. Documentos 217. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Planaltina-DF, 2010.

CHEN, C. S.; CLAYTON, J. T. The effect of temperature on sorption isotherms of biological materials. **Transactions of the ASAE**, v. 14, n. 5, p. 927-929, 1971.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2ª Ed. Lavras: UFLA, 785 p. 2005

COSTA, N. A., SILVA, F. L.H.; CAVALCANTE, J, A.; SANTOS, S. F. M. Métodos dos mínimos quadrados com aplicação em engenharia. Editora Ciência Moderna 2018

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

CUNHA, H. V. F. A diferença entre Atividade de Água (Aw) e o Teor de Umidade nos alimentos. Food Safety Brazil 2016. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/diferenca-entre-atividade-de-agua-aw-e-o-teor-de-umidade-nos-alimentos/> Acessado em: 03 de agosto de 2020.

DANTAS, F. C. P.; TAVARES, M. L. R.; TARGINO, M. S.; COSTA, A. P. *Ziziphus joazeiro* Mart. – Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga. **Revista Principia**, n. 25, p. 51-57, 2014.

DELMIRO, T. M. Secagem da cenoura (*Daucus carota L.*) pelo método foam-mat. TCC. p. 50. Departamento de engenharia química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition. Patente, U. S., 1984

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of egg plant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering** n.63. p. 349–359, 2004.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**; 2º Ed. Porto Alegre: Artmed, p.602. 2006

FOUST, A. S; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. Princípios das Operações Unitárias. Edição 21982. Editora: LTC

FERREIRA, M. N. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma.** 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

FRANCO, T. S. **Desidratação de suco de Yacon pelo método de camada de espuma.** 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n. 1, p. 9 -14. 2015.

GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. Drying kinetics od atemoya Pulp. *Ver Brasileira de Eng Agric e Amb*. v. 20. n. 7. p. 672-677., 2016

GARCIA, D. M. **Análise de atividade de água em alimentos armazenados no interior de granjas de integração avícola**. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias), Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GUILBERT, S.; MORIN, P. Définition et mesure de l'activité de l'eau: réveu des méthodes pratiques et critiques théoriques. *Lebensmittel – Wissenschaft und Thechnologie*, v. 19. P. 395-400. 1986

GUIMARÃES, M. K. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem em cmada de espuma da polpa de manga CV. KEITT. *Rev. caatinga*. v. 30. n.1. 2017

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. Tese. Departamento de engenharia química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. n 122. 2019

GURGEL, C. E. M. R.; DIEB, J. T.; MACHADO, A. K. T.; MEDEIROS, M. F. D. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata L.*) em camada de espuma: avaliação dos parâmetros de secagem**. In: XXXVII ENEMP - Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. São Carlos, SP: Universidade Federal de São Carlos, 2015

GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata L.*) em camada de espuma – Desempenho do processo e características do produto**. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014

HONORATO, G. C. Concepção de um secador rotatório para secagem do cefalotórax do camarão. 2006. 167 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

HORWITZ, W.; LATIMER Jr., G. W. (ed.). Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. 1st rev. Gaithersburg: AOAC International, 2006.

IAL. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz. Edição IV. 1ª Edição Digital. 012/IV Perda por dessecação (umidade)-Secagem direta em estufa de 105°C. p. 98. 2008.

IDEC. Conheça os tipos de medicamentos. Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. Disponível em: <https://idec.org.br/consultas/dicas-e-direitos/conheca-os-tipos-de-medicamentos#:~:text=MEDICAMENTOS%20ALOP%C3%81TICOS%3A%20s%C3%A3o%2>

[Oos%20medicamentos,receitados%20pelos%20profissionais%20de%20sa%C3%BAde](#). Acessado em: 20 de outubro de 2020.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**, Wiley Text Books, 2001.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**. v. 64, n. 3, p. 337 – 343, 1999

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v. 3, n. 22, p. 263-272, 1986.

LEE, L. T.; GARCIA, S. A.; MARTINAZZO, A. P.; TEODORO, C. E. S.. Fungitoxidade e composição química do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) sobre o *Aspergillus flavus*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e202985628, 2020.

LEITE, A. C. N. Estudo da cinética de secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da hortelã-da-folha-miúda (*Mentha crispa*). Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 108 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

LIMA, A. C. N. Secagem em camada de espuma (foam-mat drying) da folha do noni (*Morinda citrifolia L.*) Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 108 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

MACIEL, M. R. A.; NETO, G. G. Um olhar sobre as benzedadeiras de Juruena (Mato Grosso, Brasil) e as plantas usadas para benzer e curar. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Humanas**, v. 1, n. 3, p. 61-77, 2006.

MANGUEIRA, E. R. **Estudo da secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do ovo de pata**. 112 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudeste da Bahia, Itapetininga. 2009.

MCINTYRE, A. **Guia Completo de Fitoterapia: um curso estruturado para alcançar a excelência profissional**. São Paulo: Pensamento, p. 153, 2010.

MELO, K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FERNANDES, T. K. S.; BEZERRA, M. C. T. 2013. Secagem em camada de espuma da polpa do fruto do mandacaru: experimentação e ajustes de modelos matemáticos. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 10-17, 2013

MORAES, S. O.; RODRIGUES, V. **Secagem de alimentos**. Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade São Paulo. São Paulo. 2006

MOREIRA, M. F. Secagem de raspa da entrecasca do juazeiro (*Ziziphus joazeiro*) em camada de espuma (*foam-mat drying*). 80 p. Qualificação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

MOREIRA, L. A. O. Avaliação da atividade tóxica em *artemia salina* leach. De extratos de duas espécies da família *melastomataceae*. TCC. Instituto Federal de Goiás. Anápolis, 2013.

MOTA, H. S.; ALVES, S. KEMPNER, E.; BORMANIERI, A.; DALBOSCO, L.; SOUZA, P. R.; BAPTISTA, G. **Levantamento etnobotânico de plantas medicinais em cidades do médio vale do Itajaí: Possibilidades interculturais para o ensino de Botânica**. XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XII ENPEC. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019

MOURA, E. J.; SILVA, K.S.; SILVA, M. J. C.; SILVA, E. V.; SILVA, R. S. **Levantamento de plantas medicinais em áreas rurais do IFPE Campus Vitória De Santo Antão**. III Congresso Internacional das Ciências Agrárias COINTER – PDVAGRO, 2018

NEI. Refratômetro. 2020 Disponível em: <https://www.nei.com.br/refratometro-computadorizado-montengel/pg/7mQMDZDdR> Acessado em: 10 de dezembro de 2020.

OLIVEIRA, B. F. **Secagem da folha da graviola (*Annona muricata* Linn) pelo método de camada de espuma (*foam-mat drying*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), 93 p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

OLIVEIRA, J. C. A.; VEIGA, R. S. Impacto do uso do alecrim (*Rosmarinus Officinalis* l.) para a saúde humana. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, v. 2, n. 1, 2019.

PARK, K. J; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. D.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas. 121 p. 2007.

PARK, K.; NOGUEIRA, R. **Modelos de ajuste de isotermas de sorção de alimentos**. Engenharia Rural, ESALQ/USP Piracicaba, v. 3, n. 1, 1992.

PERAZZINI, H. **Secagem de resíduos cítricos em secador rotativo**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

PEREIRA, D. A. EXTRAÇÃO AQUOSA DE PRÓPOLIS E SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA PARA USO EM ALIMENTOS. Dissertação. UESB. 2008

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

PEZANTES, D. V. Estudo das operações combinadas da desidratação osmótica a vácuo, defumação líquida e secagem em filés de bonito (*Sarda sarda*). 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PINTO, E. G. Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leito de espuma. Itapetinga, 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

PINTO, U. M.; LANDGRAF, M.; FRANCO, B. D. G. M. Deterioração microbiana dos alimentos. **Microbiologia e higiene de alimentos – Teoria e prática**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Rubio, v. 1, p. 33-52, 2019.

RAJKUMAR P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V. Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. **Journal of Food Engineering**. v. 79, p, 1452– 1459, 2007.

SANTOS, F. D. **Potencial de inibição de óleos essenciais alecrim (*Rosmarinus Officinalis* L.) e citronela (*Cymbopogon Winterianus*) para o controle *in vitro* do fungo *Colletotrichum Gloeosporioides***. 53 f. TCC (Graduação em Farmácia), Faculdade Maria Milza. Governador Mangabeira, 2017.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. **Foaming and drying behaviour of ripe bananas**. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 37, pp. 517-525, 2004.

SAUTER, E. A.; MONTOURE, J. E. The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. **Journal of Food Science**, v. 37, n. 6, p. 918-920, 1972.

SCHMAL M. **Cinética e Reatores: Aplicação na Engenharia Química, teoria e exercícios**. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia; 2013

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. L.A.; PEREIRA, W. E. Dehydration of tamarindo Pulp through the foam-mat drying method. *Ciência agrotecnica.*, Lavras. V. 32. N.6. p. 1899-1905. 2007

SILVA, J. A. S.L. **Desidratação de ervas condimentares: análise do processo de secagem**. TCC (Graduação em Nutrição), Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2018

SOUSA, B. F.; SOUSA, S., FIGUEIREDO, J. S. B., MORAES, M. R. L., CARVALHO, I. P. P., CHAVES, F. J. F., MOTA, M. E. R. M., ALMEIDOT, G. N. **Cinética de secagem em camada de espuma de polpa de maracujá, utilizando diferentes aditivos** *Brazilian Journal of Development*. v. 6. N 9. 2020

SOUZA, L. F.; DIAS, R. F.; GUILHERME, F. A. G.; COELHO, C.P. Plantas medicinais referenciadas por raizeiros no município de Jataí, estado de Goiás. **Rev. Bras. Pl. Med.**, v. 18, n. 2, p. 451-461, 2016.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, 86, 573– 583, 2008

TOYAMA, D. N. M. Influência da inclusão de fitoterápicos a nanofibras eletrofiadas via solução de quitosana. 31 f. TCC (Graduação em Odontologia), Universidade Estadual Paulista, São José dos Campos, 2017.

VASCONCELOS, L. F. S. **Definição de parâmetros para a secagem em camada de espuma (foam-mat drying) do juzeiro (*ziziphus joazeiro*)**. 38f. TCC (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M. M. e BARBOSA-CANOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, v.49, n.4, p.271-289, 2001.