



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DOS ALIMENTOS

Suliana Cenaque de Andrade

O potencial de métodos de desidratação como processo para a elaboração de produtos de alto valor agregado a partir de grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck)

FLORIANÓPOLIS

2023

Suliana Cenaque de Andrade

O potencial de métodos de desidratação como processo para a elaboração de produtos de alto valor agregado a partir de grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Ciência dos Alimentos.

Orientadora: Prof. (a) Carmen Maria Olivera Müller, Dr (a).

FLORIANÓPOLIS

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Andrade, Suliana Cenaque de

O potencial de métodos de desidratação como processo para a elaboração de produtos de alto valor agregado a partir de grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) / Suliana Cenaque de Andrade ; orientador, Carmen Maria Olivera Müller, 2023.

128 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Liofilização. 3. Secagem em leite de espuma. 4. Secagem convectiva. 5. Grumixama. I. Müller, Carmen Maria Olivera . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos. III. Título.

Suliana Cenaque de Andrade

O potencial de métodos de desidratação como processo para a elaboração de produtos de alto valor agregado a partir de grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck)

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 01 de Março de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Marta de Toledo Benassi, Dr.(a)
Universidade Estadual de Londrina

Prof.(a) Ana Carolina de Oliveira Costa, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Vivian Maria Burin, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Ciências dos Alimentos.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof.(a) Carmen Maria Olivera Müller, Dr.(a)
Orientador(a)

Florianópolis, 2023.

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar cotidianamente em minha vida,

À minha mãe Gladis Cenaque de Andrade e ao meu pai Claudomir Luiz de Andrade por lutarem por nós, pelo amor e força,

Ao meu irmão Alberto Luiz de Andrade Neto por toda a inspiração e amizade,

Aos meus familiares que moram distantes, mas que sempre estão na torcida por mim,

À minha orientadora Professora Doutora Carmen Maria Olivera Müller por ser uma grande inspiração (e por tantos anos) em minha trajetória profissional. Me sinto feliz em ter a oportunidade de trabalhar com a senhora. Obrigada por me escolher em todas as vezes,

À Senhora Palmira ex-diretora da escola pública onde estudei no ensino fundamental e que materializou no coração da minha mãe a possibilidade de seus filhos estudarem em uma universidade pública,

Aos meus amigos do Laboratório de Tecnologia de Alimentos: Natália Silva de Farias, Igor Pazzini e Pietro Piccolotto por todas as trocas de vida e acadêmicas. Carrego as lembranças mais lindas ao lado de vocês,

Ao Henrique Michalski pela ajuda com as análises e parcerias no laboratório,

Aos alunos de TCC que passaram pelo Laboratório de Tecnologia de Alimentos,

À Ana Leticia Tornisiello por compartilhar esses dois anos de mestrado com leveza e dedicação,

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação que conquistei nesse período,

Aos Professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Alimentos,

A todos que trabalham diariamente para manter as estruturas da Universidade Federal de Santa Catarina,

Às Professoras, alunos e servidores da Fazenda da Ressacada e dos Laboratórios de Tecnologia de Frutas e Hortaliças, Carnes, Bioquímica de Alimentos, Química de Alimentos, Biologia Molecular e LABCAL pelo compartilhamento de equipamentos, vidrarias e pelo auxílio em determinadas análises,

Agradeço especialmente às Professoras Ana Carolina de Oliveira Costa e Vivian Maria Burin, a doutoranda Maiara Arbigaus Bredun e ao técnico Luciano Gonzaga pelo auxílio e realização de análises,

Agradeço às professoras integrantes da banca de qualificação e defesa: Ana Carolina de Oliveira Costa, Itaciara Lazorra Nunes, Marta de Toledo Benassi e Vivian Maria Burin,

Aos amigos Jhoan Sebastian Mora Rave e Sebastião Ferreira Magagnin pela ajuda com as coletas dos frutos de grumixama,

Às amigas que compartilho da mesma profissão e que me cercam de amor: Ana Flora, Beatriz, Dafne, Fernanda, Flávia, Gabriela, Juliana, Marilene e Monnik,

Aos meus amigos de uma vida toda (e aos seus familiares): Moany e Filipe,

À CAPES pelo financiamento das pesquisas e concessão da bolsa de mestrado,

Agradeço a todos que deixam enormes lembranças em minha vida,

Agradeço do fundo do meu coração a todos meus amigos e familiares. Finalizo com um trecho de uma música do Emicida: “Quem tem um amigo tem tudo. Se o poço devorar, ele busca no fundo. É tão dez que junto todo stress é miúdo. É um ponto pra escorar quando for absurdo”.

“O instrumento básico da vida é a instrução. Se educar é aprender a viver, é aprender a pensar. E nessa vida, não se enganem, só vive plenamente, o ser que pensa. Os outros se movem, tão somente” - Antonieta de Barros.

RESUMO

A grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) é uma fruta pertencente à família Myrtaceae e ao gênero *Eugenia*, é endêmica da Mata Atlântica brasileira e se distribui principalmente nesta região. Assim como outras espécies nativas, a grumixama tem uma composição rica em compostos bioativos, mas é pouco consumida na forma *in natura* ou mesmo processada. Um fator que limita a sua comercialização e o seu reconhecimento, é um curto período de colheita associado à sua alta perecibilidade. Neste contexto, uma alternativa para minimizar as perdas dos frutos de grumixama e promover a sua valorização, é submetê-los a processos de desidratação e transformá-los em pós que podem ser incorporados a uma variedade de produtos. As frutas em pós possuem maior vida útil e apresentam facilidade de armazenamento e transporte, devido a remoção da água presente nos materiais e ainda, possuem maior valor agregado por conta do processamento. Logo, o objetivo deste trabalho foi produzir produtos em pós por diferentes métodos de desidratação a partir de polpa de grumixama e avaliar o efeito destes processos sobre as características físico-químicas, propriedades físicas, tecnológicas e capacidade antioxidante *in vitro* em comparação com a polpa *in natura*. Nesse sentido, a polpa de grumixama submetida ao processo de liofilização, apresentou os maiores valores de capacidade de retenção de água e óleo (7,52 g de água g de sólidos secos⁻¹ e 2,71 g de óleo g de sólidos secos⁻¹, respectivamente), os valores encontrados para os parâmetros L^* , a^* e b^* descreveram maior preservação de cor, além disso, apresentaram maiores teores de antocianinas monoméricas totais (72,93 mg de cianidina-3-glicosídeo g⁻¹ sólidos secos) e maiores valores de capacidade antioxidante *in vitro* para as análises de capacidade redutora do reagente Folin-Ciocateu, DPPH e FRAP (40,04 mg eq. de ácido gálico g⁻¹ de sólidos secos, 152,98 μM eq. de Trolox g⁻¹ de sólidos secos e 436,65 μM eq. de Trolox g⁻¹ de sólidos secos, respectivamente). Esses resultados foram associados às baixas temperaturas, condições de vácuo utilizadas no processo e a alta porosidade da amostra. Por outro lado, a polpa de grumixama seca em leito de espuma apresentou os menores valores para a maioria dos parâmetros avaliados, porém, a incorporação de ar ocasionada no processo de produção da espuma, promoveu a formação de estruturas porosas e com baixa umidade (2,48 %), características estas que impactaram nas isotermas de adsorção de umidade constatando-se uma maior estabilidade destas amostras. A amostra de polpa de grumixama obtida pelo processo de secagem convectiva apresentou alta capacidade de retenção de água (6,70 g de água g de sólidos secos⁻¹), maior índice de solubilidade em água (40,74 %), resultados de cor satisfatórios e aproximadamente 50 % de preservação de antocianinas monoméricas totais. As amostras obtidas por secagem convectiva e liofilização apresentaram os mesmos teores de minerais majoritários em relação à polpa *in natura*, já a amostra em leito de espuma apresentou alto teor de sódio, devido a formulação. Portanto, os pós apresentaram características distintas em função dos processos pelos quais foram obtidos, fazendo com que possam ser utilizados em formulações de uma ampla gama de alimentos com finalidades específicas. A transformação da polpa de grumixama em produtos em pó pode ser uma alternativa de fonte de geração de renda para produtores e agroindústrias, pode gerar novos ingredientes para elaboração de produtos alimentícios, além de ser um incentivo para a preservação desta espécie.

Palavras-chave: cereja brasileira; secagem; leito de espuma; liofilização; antocianinas; propriedades tecnológicas; compostos bioativos.

ABSTRACT

The grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) is a fruit belonging to the Myrtaceae family and the *Eugenia* genus. It is endemic to the Brazilian Atlantic Forest and is mainly distributed in this region. Like other native species, grumixama has a composition rich in bioactive compounds, but is little consumed in natura form or even processed. A factor that limits its commercialization and recognition, is a short harvest period associated with its high perishability. In this context, an alternative to minimize the losses of grumixama fruits and promote its valorization, is to submit them to dehydration processes and transform them into powders that can be incorporated into a variety of products. Powdered fruit has a longer shelf life and is easy to store and transport due to the removal of water from the materials. Therefore, the objective of this work was to produce powder products by different dehydration methods from grumixama pulp and evaluate the effect of these processes on the physicochemical characteristics, physical and technological properties, and antioxidant capacity in vitro in comparison with the pulp in natura. In this sense, the grumixama pulp submitted to the freeze-drying process, presented the highest values of water and oil retention capacity (7.52 g of water g of dry solids⁻¹ and 2.71 g of oil g of dry solids⁻¹, respectively), the values found for the parameters L*, a* and b* described higher color preservation, in addition, they presented higher contents of total monomeric anthocyanins (72.93 mg cyanidin-3-glycoside g⁻¹ dry solids) and higher in vitro antioxidant capacity values for the Folin-Ciocateu reagent reductant capacity analyses, DPPH and FRAP (40.04 mg eq. of gallic acid g⁻¹ dry solids, 152.98 μ M eq. of Trolox g⁻¹ dry solids and 436.65 μ M eq. of Trolox g⁻¹ dry solids, respectively). These results were associated with low temperatures, vacuum conditions used in the process and the high porosity of the sample. On the other hand, the dried grumixama pulp in a foam mat showed the lowest values for most of the parameters evaluated, however, the incorporation of air caused in the foam production process, promoted the formation of porous structures and low humidity (2.48%), characteristics that impacted the moisture adsorption isotherms, showing a greater stability of these samples. The Grumixama pulp sample obtained by the convective drying process showed high water retention capacity (6.70 g water g dry solids⁻¹), higher water solubility index (40.74 %), satisfactory color results and approximately 50 % preservation of total monomeric anthocyanins. The samples obtained by convective drying and freeze-drying showed the same major mineral contents compared to the pulp in natura, while the sample in a foam mat showed a high sodium content, due to the formulation. Therefore, the powders presented distinct characteristics according to the processes by which they were obtained, making them usable in formulations of a wide range of foods with specific purposes. The transformation of grumixama pulp into powdered products can be an alternative source of income generation for producers and agribusinesses, can generate new ingredients for the elaboration of food products, besides being an incentive for the preservation of this species.

Keywords: Brazilian cherry; drying; foam mat; freeze-drying; anthocyanins; technological properties; bioactive compounds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Grumixameira (A) e frutos roxos a pretos maduros: grumixama (B1 e B2).	27
Figura 2- Grumixamas no solo e deterioradas (ampliação) após amadurecimento.....	31
Figura 3- Perdas e desperdícios de frutas e hortaliças em diferentes estágios.	33
Figura 4- Cinética de secagem em função do tempo.....	36
Figura 5- Taxa de secagem em função do tempo.	37
Figura 6- Secagem convectiva em secador de bandejas.....	41
Figura 7 – Técnica para a formação do leito de espuma.	42
Figura 8- Diagrama de fases da água com enfoque na sublimação do gelo.....	46
Figura 9- Condições para execução do processo de liofilização.	47
Figura 10- Esquema do desenvolvimento experimental.....	49
Figura 11 - Representação da grumixama.	51
Figura 12 – Espumas de grumixama espalhadas em bandejas para a posterior secagem em leito de espuma.	60
Figura 13 - Armazenamento e acondicionamento das amostras - Análise de isotermas.....	67
Figura 14 - Replicatas das curvas cinéticas de secagem – Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leito de espuma (PSLE) (B).....	76
Figura 15 - Taxas de secagem calculadas a partir do ajuste linear das replicatas de cada processo. Obtenção das equações da reta e do coeficiente de determinação (R^2). Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leito de espuma (PSLE) (B).....	78
Figura 16 - Replicatas das curvas cinéticas de secagem ajustadas aos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page. Apresentação de valores superestimados e subestimados para os modelos de Henderson e Pabis e Lewis. Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leito de espuma (PSLE) (B).....	81
Figura 17 - Resíduos dos modelos de Henderson e Pabis, Lewis e Page para a amostra PSLE.	83
Figura 18 - Média de difusão de umidade efetivo em duas etapas. Obtenção das equações da reta e coeficientes de determinação (R^2). Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leito de espuma (PSLE) (B).....	84
Figura 19 - Micrografias obtidas por MEV referentes às amostras criofaturadas após os processos de desidratação. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.....	86

Figura 20 - Valores médios das isoterma de adsorção de umidade a 25 °C e ajustes dos modelos de BET e GAB. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca Leito de Espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.	91
Figura 21 - Resíduos dos modelos de BET e GAB para a amostra PSC.....	93
Figura 22 - Fotografias da polpa de grumixama <i>in natura</i> e dos pós desidratados.....	95
Figura 23 - Fotografias dos extratos obtidos para a análise de antocianinas monoméricas totais da polpa de grumixama <i>in natura</i> e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.	99
Figura 24 – Fotografias dos extratos obtidos para as análises do potencial da capacidade antioxidante <i>in vitro</i> da polpa de grumixama <i>in natura</i> e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Tecnologias e equipamentos de desidratação e seus processos.	39
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal das polpas de grumixama cultivada em diferentes estados brasileiros.	30
Tabela 2 - Modelos Matemáticos para ajuste dos dados de secagem.....	62
Tabela 3 - Índice de Carr e Razão de Hausner para a classificação da fluidez dos pós.....	65
Tabela 4 - Sais que compõem as soluções saturadas e as correspondentes umidade relativas a 25°C.....	67
Tabela 5 - Massa dos frutos, rendimento das frações (coroas, sementes e polpas) e caracterização físico-química da polpa de grumixama <i>in natura</i> (<i>Eugenia brasiliensis</i> Lamarck) em termos de umidade, sólidos solúveis, pH e acidez total titulável.	70
Tabela 6 - Densidade da polpa de grumixama <i>in natura</i> e parâmetros de densidade, capacidade espumante e estabilidade da espuma de grumixama.	72
Tabela 7 - Parâmetros das modelagens matemáticas de Henderson e Pabis, Lewis e Page e coeficiente de determinação (R^2). PSC é Polpa seca convectiva e PSLE é Polpa seca em leito de espuma.	82
Tabela 8 - Difusão de umidade efetivo e coeficiente de determinação (R^2) calculados em duas etapas. PSC é Polpa Seca Convectiva e PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma.....	85
Tabela 9 - Análises de propriedades físicas e tecnológicas dos materiais. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de Espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.....	88
Tabela 10 - Valores médios dos parâmetros das modelagens matemáticas de GAB e BET obtidos para as isotermas de adsorção de umidade a 25 °C. PSC é Polpa seca convectiva, PSLE é Polpa seca em leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.	93
Tabela 11 - Resultados instrumentais das análises de cor e diferença total de cor para a polpa de grumixama <i>in natura</i> e para os produtos desidratados e resultados obtidos via <i>site</i> conversor dos parâmetros de cor. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca Leito de Espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.....	96
Tabela 12 - Antocianinas monoméricas totais em polpa de grumixama <i>in natura</i> e nos pós desidratados e porcentagem de retenção. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.	99

Tabela 13 - Potencial da capacidade antioxidante <i>in vitro</i> da polpa de grumixama <i>in natura</i> e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.....	103
Tabela 14 - Conteúdo de minerais majoritários em polpa de grumixama <i>in natura</i> e das amostras desidratadas. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.	106

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos Específicos	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 FAMÍLIA MYRTACEAE.....	22
2.1.1 Grumixama (<i>Eugenia brasiliensis</i> Lamarck)	26
2.2 PERDAS E DESPERDÍCIOS DE ALIMENTOS.....	31
2.3 DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS.....	34
2.3.1 Secagem Convectiva	41
2.3.2 Secagem em leito de espuma	42
2.3.3 Liofilização	44
2.3.3.1 Congelamento.....	45
2.3.3.2 Desidratação Primária	45
2.3.3.3 Desidratação Secundária.....	46
2.3.3.4 Etapas e vantagens do processo de liofilização.....	47
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 MATERIAL	50
3.2 MÉTODOS.....	50
3.2.1 Preparo das amostras	50
3.2.2 Massa dos frutos e rendimento das frações dos frutos	51
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS POLPAS.....	51
3.3.1 Análises físico-químicas e determinação de umidade	51
3.3.2 Análise de cor	52
3.3.3 Preparo dos extratos e análise de antocianinas monoméricas totais	53
3.3.4 Preparo dos extratos e avaliação da capacidade antioxidante <i>in vitro</i>	54

3.3.4.1 Capacidade redutora do reagente Folin-Ciocateu -CRFC	54
3.3.4.2 Método: Redução do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil – DPPH.....	55
3.3.4.3 Método: Redução do ferro - FRAP	55
3.3.5 Determinação de minerais majoritários	56
3.4 DESIDRATAÇÃO DA POLPA.....	57
3.4.1 Secagem convectiva da polpa	57
3.4.2 Secagem em leito de espuma.....	58
3.4.2.1 <i>Formulação das espumas, análise de densidade, capacidade espumante e estabilidade.....</i>	58
3.4.2.1.1 Determinação da densidade e capacidade espumante.....	58
3.4.2.1.2 Estabilidade das espumas	59
3.4.2.2 <i>Secagem em leito de espuma</i>	60
3.4.3 Liofilização	60
3.4.4 Cinéticas de secagem e taxa de secagem.....	61
3.4.5 Ajustes dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page	61
3.4.6 Difusão de umidade efetivo	62
3.4.7 Análise da morfologia dos leitos	63
3.5 OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS EM PÓ.....	63
3.5.1 Densidade aparente	63
3.5.2 Densidade compactada.....	64
3.5.3 Fluidez dos pós.....	64
3.5.4 Determinação da Capacidade de Retenção de Água e Capacidade de Retenção de Óleo.....	65
3.5.5 Índice de Solubilidade em Água	66
3.5.6 Isoterma de adsorção de umidade a 25 °C	66
3.5.7 Análise de cor e diferença total de cor	68

3.5.8 Análises de antocianinas monoméricas totais, capacidade antioxidante <i>in vitro</i> e determinação de minerais majoritários.....	69
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	69
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FRUTOS E DA POLPA DE GRUMIXAMA <i>IN NATURA</i>	70
4.2 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO	72
4.2.1 Parâmetros de avaliação das espumas produzidas.....	72
4.2.2 Avaliação das curvas cinéticas de secagem e determinação das taxas de secagem..	75
4.2.3 Ajustes dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page aos dados cinéticos da secagem convectiva e secagem em leito de espuma.....	80
4.2.4 Coeficiente de difusão de umidade efetivo dos processos de secagem convectiva e leito de espuma da polpa de grumixama	84
4.2.5 Morfologias dos leitos de polpa de grumixama obtidos após os processos de secagem convectiva, em leito de espuma e liofilização	86
4.3 AVALIAÇÃO DOS PÓS DESIDRATADOS	88
4.3.1 Avaliação das propriedades físicas e tecnológicas dos pós de grumixama obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização	88
4.3.2 Avaliação das isoterms de adsorção de umidade a 25 °C dos pós de grumixama obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização.....	91
4.3.3 Avaliação de cor e diferença total de cor dos pós de grumixama obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização	95
4.3.4 Avaliação do teor de antocianinas monoméricas totais na polpa de grumixama <i>in natura</i> e nos pós obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização.....	98
4.3.5 Avaliação da capacidade antioxidante <i>in vitro</i> na polpa de grumixama <i>in natura</i> e nos pós obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização	100
4.3.6 Avaliação do conteúdo de minerais majoritários na polpa de grumixama <i>in natura</i> e nos pós obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização	105

5 CONCLUSÃO.....	108
REFERÊNCIAS.....	100
APÊNDICE A.....	115

1 INTRODUÇÃO

A família Myrtaceae possui grande representatividade na flora brasileira e muitas espécies produzem frutos comestíveis de alto valor nutricional que podem ser consumidos *in natura* ou processados. Além dessas aplicações, as mirtáceas são cultivadas para a obtenção de madeiras, extração de óleos essenciais, especiarias, utilizadas em processos de reflorestamento e como plantas ornamentais (NERI-NUamor, 2018; WILSON, 2011). As espécies desta família também são amplamente utilizadas na medicina tradicional, devido à presença de fitoquímicos como flavonóis, taninos e terpenos (NERI-NUMA *et al.*, 2018).

O alto valor nutricional dos frutos das espécies da família Myrtaceae em parte está associado à presença de compostos bioativos o que faz com que muitas espécies desta família sejam comercializadas, como é o caso da goiaba, pitanga, camu-camu, jabuticaba, feijoa, entre outras. No entanto, ainda existem muitas frutas desta família que são subutilizadas ou pouco exploradas, como é o caso da grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) pertencente ao gênero *Eugenia* (ARAÚJO *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

A grumixama é uma fruta muito semelhante à cereja em relação a aparência e por isso, também é conhecida como cereja brasileira (*brazilian cherry*), ela é nativa da Mata Atlântica, com ocorrência desde a Bahia até os estados das regiões Sudeste e Sul do Brasil (AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016; SARDI *et al.*, 2017; TEIXEIRA *et al.*, 2015).

As frações dos frutos divididas em partes comestíveis, sementes e folhas de grumixama vem sendo estudadas em diferentes áreas, o que tem ampliado o conhecimento a respeito da sua composição, macronutrientes e micronutrientes. Estudos com esta espécie relatam a presença de vitamínicos, minerais, carotenoides, antocianinas, elagitaninos e uma diversidade de compostos fenólicos. Esta diversa composição da grumixama tem sido associada à sua capacidade antioxidante e efeitos antimicrobianos, anti-inflamatórios, antinociceptivos, antidepressivos, hipolipidêmicos, características estas que tem promovido sua utilização também como matéria-prima para a obtenção de óleos essenciais (AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016; COLLA *et al.*, 2012; FLORES *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2017; NEHRING, 2016; SARDI *et al.*, 2017; SIEBERT *et al.*, 2015; SIMÕES *et al.*, 2018; TEIXEIRA *et al.*, 2015; ZOLA *et al.*, 2019).

Embora a grumixama apresente estas características, não é uma fruta comercializada e é pouco consumida *in natura*, o que acarreta em uma carência de dados sobre a sua produção

e consumo (NASCIMENTO *et al.*, 2017; TEIXEIRA; HASSIMOTTO; LAJOLO, 2018). Estes aspectos de comercialização da grumixama podem estar associados à sua alta perecibilidade e safra relativamente curta (SANTIAGO *et al.*, 2016). Além disso, segundo Junior, Souza e Pádua (2021), a maioria das frutas provenientes da flora brasileira são comercializadas em feiras livres ou utilizadas nas culinárias regionais, contudo esse tipo de comércio vem se tornando cada vez mais escasso e essas frutas sendo menos produzidas e consumidas, o que resulta em uma preocupação, pois estas atividades geram renda para as comunidades locais. Sendo assim, o reconhecimento de espécies endêmicas, como a grumixama, pode potencializar os investimentos em safras comerciais e as tecnologias pós-colheita podem aumentar a quantidade e melhorar a qualidade dos frutos, gerando então, maior reconhecimento, valorização e crescimento dessas cadeias agroprodutivas (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Neste contexto, a obtenção de produtos desidratados a partir dessas frutas pode ser uma alternativa para o resgate destas espécies, além de aumentar o seu consumo, ampliar a sua utilização e agregar valor, fazendo com que sejam mais conhecidas e expandam os seus canais de distribuição.

Os métodos de desidratação estendem a vida útil dos produtos, principalmente devido à diminuição na atividade de água, que resultam na minimização das reações químicas e microbiológicas causadas nos materiais, além de que podem aumentar a possibilidade de novas aplicações como ingredientes e melhorarem as condições de armazenamento e transporte. Para a obtenção destes produtos ou ingredientes desidratados emprega-se diferentes técnicas e processos que dão origem a materiais com diferentes características (ONWUDE *et al.*, 2022).

A secagem convectiva é um dos métodos mais utilizados para a desidratação de alimentos devido ao baixo custo e por empregar equipamentos de simples operação (GU *et al.*, 2022; SADOWSKA *et al.*, 2019). O método promove a remoção de água através da passagem de uma corrente de ar quente (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018). A secagem em leito de espuma é uma técnica alternativa de desidratação para a obtenção de frutas e hortaliças em pó, sendo que esta consiste na transformação dos materiais líquidos ou pastosos em espumas através da adição de agentes espumantes e estabilizantes de espumas. O método pode facilitar os processos de secagem, pois as espumas são sistemas aerados e isto possibilita a criação de canais que facilitam os processos remoção de água. Os produtos resultantes deste processo são porosos e podem apresentar mais elevadas taxas de secagem quando comparados com materiais obtidos de forma convencional e por consequência, o tempo de processo e os gastos energéticos

podem ser reduzidos (KOÇ *et al.*, 2022). Já a liofilização ocorre em baixas temperaturas e é o processo que promove a remoção da água por sublimação do solvente (HARGUINDEGUY; FISSORE, 2020). Embora as frutas desidratadas por esta técnica apresentem excelentes características sensoriais e preservem compostos termossensíveis, envolvem os mais elevados gastos energéticos e de instalações (AN *et al.*, 2022; GU *et al.*, 2022; SADOWSKA *et al.*, 2019).

Durante o desenvolvimento deste trabalho, não foram encontrados estudos na literatura que apliquem diferentes técnicas de desidratação para a obtenção de pós de grumixama e que avaliem os efeitos destes processos nas características físicas, propriedades tecnológicas, micronutrientes e preservação de compostos bioativos.

Assim a obtenção de produtos desidratados a partir de polpa de grumixama abre uma perspectiva de utilização como ingrediente pela indústria de alimentos, seja para produzir pigmentos naturais ou até mesmo para o desenvolvimento de novos produtos e formulações. Portanto, a utilização desta fruta na forma desidratada pode resultar em produtos de alto valor agregado, com maior vida útil e como consequência, o fruto pode se tornar uma cultura comercial, que beneficia os produtores em termos econômicos e socioambientais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é produzir produtos em pós por diferentes métodos de desidratação a partir de polpa de grumixama e avaliar o efeito destes processos sobre as características físico-químicas, propriedades físicas, tecnológicas e capacidade antioxidante *in vitro* em comparação com a polpa *in natura*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os frutos em termos de massa, além de determinar o rendimento em diferentes frações (coroas, sementes, cascas/polpas);
- Caracterizar a polpa de grumixama quanto às análises físico-químicas, umidade e cor;
- Determinar na polpa o teor de antocianinas monoméricas totais, identificar os minerais majoritários e avaliar a capacidade antioxidante *in vitro* utilizando os métodos: Capacidade do Reagente Folin-Ciocateu, DPPH e FRAP;
- Realizar a secagem convectiva da polpa de grumixama, determinar a cinética de secagem e a taxa de secagem, ajustar as curvas aos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page e determinar a difusão de umidade efetivo;
- Obter a melhor condição de formação da espuma de grumixama utilizando isolado proteico de soja e alginato de sódio, realizar a secagem da espuma, determinar a cinética de secagem e a taxa de se secagem, ajustar as curvas aos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page e determinar a difusão de umidade efetivo;
- Realizar a liofilização da polpa de grumixama;

- Avaliar a microestrutura dos produtos desidratados através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- Analisar os pós obtidos por secagem convectiva, leite de espuma e liofilização através das análises físicas de densidade aparente, densidade compactada e fluidez dos pós (Índice de Carr e Razão de Hausner);
- Avaliar a capacidade de retenção de água, capacidade de retenção de óleo, índice de solubilidade em água e cor dos pós produzidos por secagem convectiva, leite de espuma e liofilização;
- Determinar as isotermas de adsorção de umidade dos pós obtidos por secagem convectiva, leite de espuma e liofilização e ajustar os modelos de GAB e de BET aos dados experimentais;
- Analisar os pós em termos do teor de antocianinas monoméricas totais, identificar os minerais majoritários e avaliar a capacidade antioxidante *in vitro* utilizando os métodos: Capacidade do Reagente Folin-Ciocateu, DPPH e FRAP.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FAMÍLIA MYRTACEAE

A família Myrtaceae possui aproximadamente 140 gêneros e é composta por 3.500 a 5.800 espécies. Tem grande distribuição no hemisfério sul, com ocorrência principalmente na Austrália e América do Sul, mas também é encontrada no Sudeste Asiático, África, Índia, Nova Caledônia, diversas ilhas do Pacífico e norte do Havaí (FRAUCHES *et al.*, 2016; THORNHILL *et al.*, 2015).

Devido à família Myrtaceae ser encontrada nas florestas tropicais, sendo predominantemente na Mata Atlântica, suas espécies são componentes importantes da flora brasileira. No Brasil, aproximadamente 50 % das espécies da família são da própria região (endêmicas), estendendo-se pela Mata Atlântica (floresta úmida costeira tropical e subtropical), floresta tropical seca adjacente, semidecidual, manguezais e savanas tropicais (FRAUCHES *et al.*, 2016; WILSON, 2011).

As plantas da família Myrtaceae são do tipo lenhosas, onde as árvores se desenvolvem em florestas, bosques fechados e bosques abertos. As cascas têm grandes variações, sendo predominante as de troncos lisos que se desprendem da planta anualmente. Algumas espécies se desenvolvem como arbustos ou subarbustos, podendo produzir flores e frutos mesmo com baixa altura (WILSON, 2011).

As folhas são do tipo simples, geralmente possuem óleos que as tornam aromáticas quando trituradas. Devido ao aspecto brilhante das folhas e a coloração atrativa das flores, diversas espécies são utilizadas como plantas ornamentais (MITRA *et al.*, 2012).

Os frutos da família Myrtaceae são carnosos, geralmente contêm uma única semente e apresentam coloração que variam de vermelho a roxo, medindo de 2 a 4 cm de diâmetro, porém existem algumas espécies que apresentam uma ou mais sementes, tamanhos maiores e com outras colorações (FRAUCHES *et al.*, 2016; MITRA *et al.*, 2012; WILSON, 2011).

Gressler, Pizo e Morellato (2006), reuniram importantes informações sobre os polinizadores e dispersores de sementes das espécies de Myrtaceae nativas da flora brasileira, em especial da Mata Atlântica, e apontam que deve-se manter um conhecimento sobre esses agentes, como uma forma de preservação destas espécies. Segundo os autores, as abelhas aparecem como os principais e mais importantes agentes polinizadores para a família

Myrtaceae. No que se refere aos dispersores de sementes se destacam animais vertebrados que se alimentam de frutas, como as aves, macacos e morcegos.

As espécies são comumente encontradas em pequenas hortas, propriedades de agricultura familiar ou matas e bosques (FRAUCHES *et al.*, 2016). Alguns gêneros possuem grande representação como *Eucalyptus*, *Melaleuca*, *Syzygium*, *Pimenta*, *Eugenia*, *Psidium*, *Campomanesia*, *Acca*, *Myrciaria* (sin. *Plinia*), *Ugni* e *Rhodomyrtus*, além disso, estes gêneros se destacam devido a sua utilização na medicina popular e muitas frutas são comestíveis (MITRA *et al.*, 2012; THORNHILL *et al.*, 2015).

O gênero *Eugenia* é distribuído nas regiões tropicais e subtropicais e compõe um terço das espécies da família Myrtaceae (aproximadamente 400 espécies). Produzem frutos comestíveis, mas também são empregados para a extração de óleos essenciais, no setor madeireiro, como plantas ornamentais e são utilizados em produtos farmacológicos. Dentre os representantes deste gênero se destacam a grumixama (*E. brasiliensis* Lamarck), cereja-do-rio-grande (*E. involucrata* DC), uvaia (*E. pyriformis* Cambess), araçá-boi (*E. stipitata* McVaugh) e pitanga (*E. uniflora* EU) (SANTOS *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2018; ZOLA *et al.*, 2019).

O gênero *Melaleuca* se apresenta cercado de outras espécies de plantas, incluindo o gênero *Eucalyptus*, constituindo um *habitat* de grande importância para a fauna, além de fornecerem madeiras para a construção e obtenção de móveis, bem como a produção de óleos essenciais (*tea-tree*) e mel. Espécies como niaouli (*M. quinquenervia*), cajuput (*M. cajuputi*) e pulseira de murta-mel (*M. armillaris*) tem ampla distribuição. As plantas desse gênero apresentam uma composição rica em óleos essenciais e componentes voláteis de importância comercial como 1,8-cineol, éter metílico de eugenol, (*E*)-nerolidol, linalol, α -terpineol, terpinen-4-ol (HAYOUNI *et al.*, 2008; SIDDIQUE *et al.*, 2017; TRAN *et al.*, 2013).

O eucalipto-comum (*Eucalyptus globulus* Labill) é a espécie mais utilizada e cultivada do gênero *Eucalyptus*. As árvores das espécies são utilizadas no setor madeireiro e na indústria de celulose e suas folhas e galhos são destinados para a extração de óleos essenciais. Os óleos essenciais, são empregados nas indústrias de cosméticos, perfumaria, alimentos e farmacêutica onde são elaborados diferentes produtos como, sabões e detergentes, alimentos e bebidas, além de sua utilização nas áreas de aromaterapia e fitoterapia. O *E. globulus* é a principal fonte de extração de óleos essenciais e possui como composto principal um éter monoterpênico, o 1,8-cineol (cineol ou eucaliptol) (CHANDORKAR *et al.*, 2021).

Dentre o gênero *Pimenta*, as espécies mais importantes são a *Pimenta dioica* (L) Merrill (Pimenta da Jamaica) e *Pimenta racemosa* (Mill) Moore (*bay rum*). A Jamaica é o país com maior produção e exportação das espécies *Pimenta*, porém, outros países também têm representação como Honduras, Guatemala, México, Brasil e Belize. Na pimenta da Jamaica, são encontrados compostos como eugenol, isoeugenol, sesquiterpeno e β -cariofileno e devido à presença desses compostos, a sua forma desidratada é muito utilizada como condimento e conservante na indústria de alimentos. Os óleos essenciais também são utilizados na produção de cosméticos, velas, pesticidas, fungicidas, bioinseticidas e para fins medicinais (REMA; KRISHNAMOORTHY, 2012; SILVA; YERENA; NECHA, 2021).

O gênero *Psidium* é originário da América do Sul, sendo que, atualmente é distribuído em países tropicais e subtropicais. O gênero engloba cerca de 150 espécies e destas, 20 espécies produzem frutos comestíveis, as demais são selvagens. A espécie mais cultivada é a goiaba comum (*P. guajava* L.) e outras espécies como *P. cattleyanum* Sabine e *P. guineese* Swartz, que são conhecidas popularmente como araçá e goiaba-da-costa-rica (*P. friedrichsthalianum* Ndz.) (FRANZON *et al.*, 2009; MANI; MISHRA; THOMAS, 2011). Dentre este gênero, a goiabeira possui alto valor comercial, seus frutos são bem aceitos pelos consumidores, sendo utilizada na fabricação de produtos alimentícios e consumo *in natura* e do araçazeiro são aproveitados a madeira e os frutos, sendo estes últimos pouco comercializados (FRANZON *et al.*, 2009; MANI; MISHRA; THOMAS, 2011).

O gênero *Myrciaria* ou também denominado de *Plinia*, tem ocorrência no Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina, América Central e Sul da Flórida. Os frutos destas espécies possuem atividade antioxidante e são ricas em antocianinas, o que os tornam materiais amplamente utilizados pela indústria farmacêutica e de alimentos (BORGES; CONCEIÇÃO; SILVEIRA, 2014; CITADIN; DANNER; SASSO, 2010; DANNER *et al.*, 2007). Três espécies se destacam devido sua ampla distribuição e cultivo no Brasil: sendo elas jabuticaba de cabinho (*M. trunciflora* O. Berg), jabuticaba-paulista (*M. cauliflora* (Mart.) O. Berg) e jabuticaba de Sabará (*M. jabuticaba* (Vell.) O. Berg) (INADA *et al.*, 2021). Além das jabuticabeiras, o gênero contempla a espécie camu-camu (*M. dúbia*), que possui coloração avermelhada após o amadurecimento. O camu-camu é amplamente utilizado pela indústria de alimentos e possui alta concentração de ácido ascórbico. O fruto ainda é pouco explorado no Brasil e sua comercialização no país é em pequena escala e principalmente na forma de polpa congelada (COSTA *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2021).

Muito utilizado em diversas áreas, o gênero *Campomanesia*, tem os seus frutos destinados para o consumo *in natura* e elaboração de produtos alimentícios, suas flores despertam o interesse apícola e as madeiras, são utilizadas na produção de instrumentos musicais, cercas, lenha e carvão. Este gênero contempla várias espécies que podem ser utilizadas para paisagismo e reflorestamento de áreas degradadas (VALLILO *et al.*, 2008). Dentre as espécies deste gênero destacam-se a *C. xanthocarpa* (guabirobeira), *C. adamantium* (gabirola ou gabirola-do-mato) e *C. phaea* (O. Berg.) Landrum (cambuci) (VALLILO *et al.*, 2005, 2006, 2008).

Com mais de 500 espécies, o gênero *Syzygium* é originário do Sudeste Asiático, local onde se encontra principalmente distribuído (MITRA *et al.*, 2012). O gênero *Syzygium* por muito tempo foi debatido pelos taxonomistas como *Eugenia* (NAIR, 2017). As espécies mais difundidas são *Syzygium aqueum*, *S. samarangense*, *S. malaccensis*, *S. aromaticum* e *S. polyanthum*, com os nomes populares de jambo branco, jambo rosa, jambo vermelho, cravo-da-índia e folha de louro indiana, respectivamente. As espécies desse gênero, tem grande importância na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas (MUDIANA, 2016). Além destas espécies, o jambolão (*Syzygium cumini* L) tem ampla distribuição e pode ser cultivado, tanto para obtenção dos frutos, como para produção madeireira (NAIR, 2017).

A feijoa *Acca sellowiana* (Berg) Burret, sinônimo de *Feijoa sellowiana* (Berg) é um arbusto perene e pertencente ao gênero *Acca*. É conhecida no Brasil como “goiabeira serrana”, “*guavabo del pais*” no Uruguai, “*pinepple guava*” nos Estados Unidos da América e “feijoa” é a denominação mais utilizada internacionalmente. A fruta é nativa do planalto meridional brasileiro e nordeste do Uruguai, mas embora nativa desses países, é cultivada exclusivamente na Nova Zelândia e Colômbia. Devido ao seu sabor característico e o seu aroma, esta fruta apresenta um potencial de exploração para o mercado mundial de frutas *in natura* e processadas (AMARANTE; SANTOS, 2011; QUEZADA *et al.*, 2014; SCHOTSMANS *et al.*, 2011).

O *Rhodomyrtus* e *Ugni*, são os gêneros menos conhecidos da família Myrtaceae, mas possuem grande importância associada, principalmente ao consumo de seus frutos (MITRA *et al.*, 2012). O *Rhodomyrtus tomentosa* (Aiton) Hassk é conhecido como murta rosa e se distribui no sudeste asiático, com destaque para Hong Kong e na China. Seus frutos são bagas de casca e polpa roxa, com a presença de diversas sementes que são consumidos *in natura* e empregados na produção de geleias e conservas. Tem ampla utilização como ornamental, devido à presença de flores atrativas e de coloração rosa (HUI; LI; LUK, 1975; MITRA *et al.*, 2012). As espécies

Ugni myricoides (goiaba chilena preta) e *Ugni molinae* Turcz. (Ugni ou goiaba chilena) são arbustos de pequeno porte, cujos frutos são consumidos *in natura* ou utilizados na produção de geleias e doces (MITRA *et al.*, 2012).

Observa-se que muitas espécies da família Myrtaceae podem e são utilizadas para a produção de alimentos, como sorvetes, sucos, iogurtes, licores, sobremesas, vinhos, vinagres, barras de cereais, doces e geleias. Além da utilização pela indústria alimentícia, as diversas espécies que fazem parte desse gênero têm sido utilizadas na medicina popular com o objetivo de tratamento de diversas doenças e para obtenção de madeiras que são utilizadas em diversas áreas (PEREIRA *et al.*, 2012; REYNERTSON *et al.*, 2008).

Por outro lado, embora o Brasil possua uma extensa diversidade em sua flora e uma grande variedade de espécies frutíferas, a maioria delas se encontra subutilizada ou pouco exploradas quanto ao seu potencial de utilização na indústria de alimentos ou farmacêutica (ARAÚJO *et al.*, 2019; SARDI *et al.*, 2017).

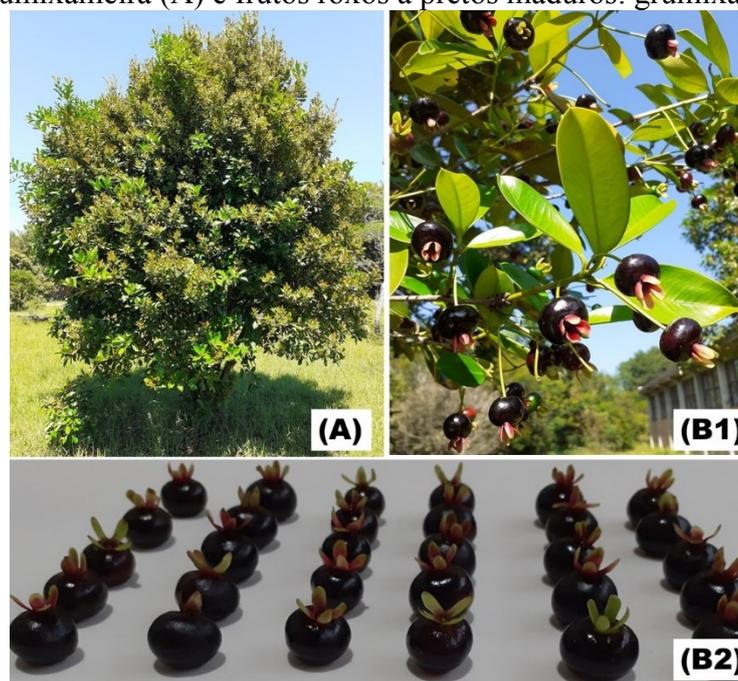
2.1.1 Grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck)

A grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) é uma fruta pertencente à família Myrtaceae e ao gênero *Eugenia* (FLORES *et al.*, 2012). Outros nomes populares também são dados a fruta, como grumichama, cumbixaba, ibaporoiti e cereja brasileira (*brazilian cherry*) (SUGUINO *et al.*, 2011). É uma fruta nativa da Mata Atlântica brasileira e se encontra distribuída nas regiões Sul e Sudeste do país (SUGUINO *et al.*, 2011; TEIXEIRA *et al.*, 2015), mas que também pode ser encontrada no Sul da Bahia (AGUIAR; SABAA-SRUR; SMITH, 2016).

Em relação aos seus aspectos agrônômicos, são propagadas especialmente por sementes. Após o quinto ano começam a produzir os frutos, sua floração ocorre de novembro a fevereiro e o amadurecimento dos frutos ocorre aproximadamente um mês após o florescimento (SUGUINO *et al.*, 2011).

As árvores (grumixameiras) podem apresentar tamanhos variados e medindo de 5,5 a 12 metros de altura, as frutas são ovais, com diâmetro entre 2,5 a 3 cm, colorações que variam de vermelho a roxo-escuro (ou preto) (Figura 1) e amarelo (*Eugenia brasiliensis* Leucocarpus). São frutos adocicados, contêm uma ou mais sementes e suas cascas são sensíveis e finas (MITRA *et al.*, 2012; TEIXEIRA *et al.*, 2015).

Figura 1- Grumixameira (A) e frutos roxos a pretos maduros: grumixama (B1 e B2).



Fonte: Autora (2023).

Teixeira *et al.* (2015) avaliaram as polpas e sementes de grumixamas roxas e amarelas colhidas nos estados de São Paulo e Santa Catarina. As sementes apresentaram maiores quantidades de compostos fenólicos do que as polpas (2,51 a 3,3 g 100 g⁻¹ massa fresca e 0,18 a 0,75 g 100 g⁻¹ massa fresca, respectivamente). A polpa roxa apresentou teores importantes de antocianinas (32 a 180 mg equivalente de antocianina total 100 g⁻¹ massa fresca) e elagitaninos quantificados como ácido elágico total (82 a 243 mg equivalente de ácido elágico 100 g⁻¹ massa fresca). Na análise das antocianinas, os autores observaram que de 82 a 89 % correspondiam a cianidina-3-glicosídeo e de 3 a 8 % a cianidina aglicona, Na polpa amarela foram identificados principalmente flavonóis, sendo estes derivados de quercetina e miricetina (41 mg 100 g⁻¹ massa fresca) e flavonoides em quantidades menores (91,72 mg 100 g⁻¹ massa fresca), principalmente compostos como catequina, epicatequina e elagitaninos. Já nas sementes foram identificados flavonoides em quantidades de 39 a 70 mg 100g⁻¹ massa fresca e flavonóis, principalmente miricetina (14 a 30 mg 100g⁻¹ massa fresca) e os principais constituintes foram os elagitaninos (2,22 a 2,95 g equivalente de ácido elágico 100 g⁻¹ massa fresca).

Flores *et al.* (2012), identificaram nove antocianinas presentes em frutos de grumixama, sendo que sete foram relatadas pela primeira vez: delfinidina-3-glicosídeo, cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3-arabinósido, malvidina-3-glicosídeo, delfinidina, cianidina,

cianidina-3-galactosídeo, delphinidina-3-pentosídeo e cianidina-3-xilosídeo. Além disso, os autores avaliaram a ação de delphinidina-3-glicosídeo, cianidina-3-glicosídeo, delphinidina e cianidina em células epiteliais das vias respiratórias humanas, quando expostas aos efeitos do extrato de fumaça de cigarro e observaram um efeito inibitório da inflamação secundária, podendo atuar na ação contra doença pulmonar obstrutiva crônica, sendo que esta é ocasionada principalmente pelo tabagismo.

Estudando a grumixama roxa, Nascimento *et al.* (2017) reportaram a presença de carotenoides nas sementes ($3,64 \mu\text{g g}^{-1}$) e na fração casca e polpa ($32,90 \mu\text{g g}^{-1}$), sendo que nessa última fração, em torno de $22,27 \mu\text{g g}^{-1}$ corresponde a β -criptoxantina. A presença de carotenoides é pouco analisada em frutos de coloração roxa, mas a grumixama pode ser considerada uma fonte de antioxidantes e Provitamina A. Além disso, foram identificadas seis antocianinas na polpa de grumixama liofilizada: delphinidina-3-glicosídeo, cianidina-3-galactosídeo, cianidina-3-glicosídeo, petunidina-3-glicosídeo, pelargonidina e peonidina-3-glicosídeo. A delphinidina-3-glicosídeo e cianidina-3-glicosídeo, correspondem a 96 % do total de antocianinas.

Siebert *et al.* (2015) avaliaram a composição química de óleos essenciais extraídos das folhas de grumixameira, colhidas durante as quatro estações do ano. Os autores reportam que os compostos majoritários encontrados foram sesquiterpenos, como o espatulenol - 16,02 e 18,17 % (primavera e verão, respectivamente), T-cadinol - 10,38 e 12,83 % (outono e inverno, respectivamente) e dentre os monoterpenos destacaram-se α -terpineol - 3,48% (primavera), α -pineno - 9,05; 5,14 e 15,94 % (verão, outono e inverno, respectivamente). Além disso, observaram que o microclima pode influenciar na composição dos óleos essenciais e que por sua vez, podem impactar nas atividades biológicas como a atividade antibacteriana, antioxidante e anticolinesterase.

Na avaliação dos extratos produzidos das folhas de grumixameira, Simões *et al.* (2018) observaram a presença de compostos fenólicos como a catequina, miricetina, isoquercetina, rutina, quercetina e galangina. Além disso, analisaram os efeitos dos extratos sobre a dor e os processos inflamatórios agudos e persistentes em camundongos e obtiveram respostas positivas sobre os efeitos antinociceptivos e anti-inflamatórios, indicando a possibilidade destes extratos serem utilizados para fins fitoterápicos.

Os extratos das folhas de *Eugenia brasiliensis* Lamarck também apresentaram efeitos antidepressivos, com a possibilidade de serem associados a fármacos convencionais que são

empregados no tratamento da depressão, afim de reduzir as doses destes medicamentos (COLLA *et al.*, 2012). Outros autores apontam, que extratos de folhas e sementes de grumixama apresentam propriedades hipolipidêmicas, capacidade antioxidante, ação antifúngica contra cepas de *Candida albicans* e apresentam baixa toxicidade (LIMA *et al.*, 2017; SARDI *et al.*, 2017).

Em relação aos micronutrientes presentes nos frutos, de acordo com os estudos de Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016), foram encontrados em maiores quantidades minerais como o potássio (160 mg/100g), cálcio (19,8 mg/100g), magnésio (6,61 mg/100g) e ferro (0,52 mg/100g). Já Nehring (2016), reporta que em frutos provenientes de dois municípios de Santa Catarina (Florianópolis e São Ludgero), destacam-se a presença de minerais como potássio (329,95 a 589,30 mg/100g), sódio (20,89 a 117,51 mg/100g), cálcio (45,37 a 149,02 mg/100g) e magnésio (40,48 a 80,18 mg/100g). Zola *et al.* (2019), também reportam a presença desses minerais, mas em maiores quantidades no que se refere a cálcio (3,23 mg/g), ferro (1,54 mg/g) e potássio (0,84 mg/g). Os autores, ainda ressaltam que conhecer os minerais presentes nestas frutas, pode contribuir para que se estimule o cultivo, produção e sua comercialização.

A Tabela 1 mostra a composição centesimal da polpa de grumixama obtida em diferentes estados brasileiros. Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016) e Zola *et al.* (2019), obtiveram os mesmos resultados em relação ao teor de sólidos solúveis (5 °Brix), contudo, vale ressaltar que Zola *et al.* (2019) consideraram como polpa as frações de cascas e polpas, enquanto que Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016) consideraram somente a polpa, sendo assim, esta divisão das frações pode explicar as diferenças na composição em relação ao teor de umidade e carboidratos encontrados pelos autores.

Tabela 1 - Composição centesimal das polpas de grumixama cultivada em diferentes estados brasileiros.

	Minas Gerais (MG)	Rio de Janeiro (RJ)	São Paulo Vale do Paraíba (SP)	São Paulo São Paulo (SP)	Goiás (GO)	Santa Catarina (SC)
Constituintes expressos em g/100g						
Umidade	90,15	95,29	84,80 - 88,29	91,66	82,96	83,67 - 87,60
Carboidratos	9,08	4,08	-	3,93	9,07	-
Proteínas	0,39	0,27	0,50 - 0,66	0,41	0,71	0,54 - 0,61
Lipídeos	0,02	0,13	0,22 - 0,26	0,14	0,72	0,16 - 0,18
Fibras	1,25	-	3,11 - 4,65	-	5,94	3,10 - 4,18
Fibras	-	-	1,07 - 1,70	14,75	-	1,49 - 2,04
Insolúveis						
Fibras	-	-	2,04 - 2,95	5,59	-	1,53 - 2,15
Solúveis						
Cinzas	0,36	0,23	0,44 - 0,56	0,34	0,60	0,31 - 0,61

Fonte: MG: Zola *et al.* (2019); RJ: Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016); SP (Vale do Paraíba) e SC: Teixeira *et al.* (2015); SP (São Paulo): Ramos *et al.* (2020); GO: Xu *et al.* (2020).

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), as frutas e hortaliças perecíveis apresentam teor de umidade de 50 a 95 % e por isso, estas são mais suscetíveis a danos mecânicos, fisiológicos e patogênicos. A conservação desses alimentos se dá por alguns dias ou poucas semanas devido ao seu metabolismo acelerado e por isso, a deterioração ocorre a curto prazo.

O conteúdo de água presente na grumixama faz com que ela possa ser caracterizada como uma fruta perecível. Segundo Teixeira *et al.* (2015), a sua forma *in natura* é pouco consumida e o seu processamento ocorre de forma a obter suco e polpa congelada ou ainda para a produção de doces, geleias e vinhos (artesaniais) (MITRA *et al.*, 2012; TEIXEIRA; HASSIMOTTO; LAJOLO, 2018).

Em observações realizadas para a fruta jambolão, espécie com características similares a grumixama, Santiago *et al.* (2016) evidenciam o seu baixo consumo, fazendo com que as frutas caíam das árvores e sejam perdidas quando depositadas no solo. O mesmo pode ser

observado na Figura 2, que mostra as grumixamas que não foram coletadas após o seu amadurecimento e se apresentaram deterioradas em poucos dias.

Figura 2- Grumixamas no solo e deterioradas (ampliação) após amadurecimento.



Fonte: Autora (2023).

Portanto, realizar um maior reconhecimento dessa fruta quanto os benefícios nutricionais, presença de compostos bioativos e as possibilidades de utilização em diversas áreas, pode minimizar a suas perdas e aumentar o seu consumo, podendo até torná-la uma cultura comercial e de alto valor agregado (TEIXEIRA; HASSIMOTTO; LAJOLO, 2018).

2.2 PERDAS E DESPERDÍCIOS DE ALIMENTOS

As perdas e desperdícios de alimentos, termo em inglês *Food Loss and Waste* (FLW) ganham cada vez mais importância nos setores públicos e privados e muitas iniciativas vem sendo realizadas no sentido de reduzir os impactos destas práticas. Os termos “perdas” e “desperdícios”, apesar de se correlacionarem, apresentam definições distintas (FAO, 2014).

Os prejuízos na quantidade e qualidade dos alimentos é definida como “perda de alimentos”, podendo ocorrer principalmente nas etapas de produção e distribuição, ou seja, são descartadas sem intenção, devido a problemas de colheita ou por apresentaram deterioração devido às condições de transportes (FAO, 2014, 2020).

Já o “desperdício de alimentos” é definido como os alimentos que se apresentam próprios para o consumo, mas que foram negligenciados e por isso, deterioraram ou expiraram a data de comercialização. Exemplos disso, são os alimentos que não atendem as aparências estéticas como forma, tamanho ou cor e produtos perecíveis que chegaram no seu limite de consumo (deterioradas) (FAO, 2014, 2020).

As perdas e desperdícios de alimentos impactam na segurança dos alimentos e alimentar, qualidade, desenvolvimento econômico e no meio ambiente. Elas são geradas por influências nas escolhas e padrões das produções agrícolas, infraestrutura e capacidade de armazenamento dos locais, falta de capacitação no campo, *marketing*, distribuição, compras e utilização dos alimentos pelos consumidores (FAO, 2011).

Segundo Elik *et al.* (2019), todos os integrantes da cadeia produtiva de alimentos e até mesmo os consumidores, tem responsabilidades pela utilização dos recursos de forma moderada, visando a proteção do meio ambiente e a redução dos desperdícios de alimentos.

As questões de insegurança alimentar estão mais relacionadas ao poder de compra e preços dos alimentos (acesso) do que aos problemas do próprio abastecimento. Embora, se as políticas de abastecimento fossem mais eficientes, haveria uma redução dos preços, que consequentemente aumentaria o acesso aos alimentos (FAO, 2011).

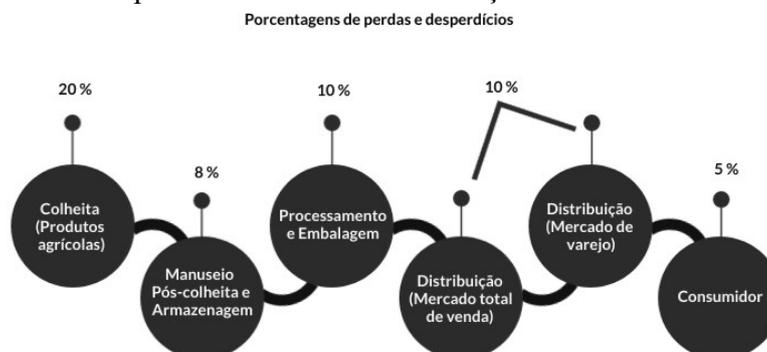
Pela primeira vez Kумму *et al.* (2012), quantificaram as perdas de produção agrícolas em Quilocalorias (Kcal), para isto, os autores realizaram um levantamento de dados de perdas produção, pós-colheita, processamento e consumo de alimentos nos anos de 2005 a 2007. Os autores reportaram que cerca de um quarto das safras globais destinadas à alimentação humana, são perdidas ou desperdiçadas, o que corresponde a $1,46 \times 10^{15}$ Kcal/ano, o que poderia alimentar 1,9 bilhão de pessoas (considerando uma dieta de 2.100 Kcal/dia).

Já em relação a produção total, que inclui produtos destinados a alimentação, produção de ração, sementes e outros usos, significa que, um terço são perdidas ou desperdiçadas ao longo da cadeia de abastecimento e 1,3 bilhão de toneladas de alimentos por ano são perdidos globalmente (FAO, 2011; KUMMU *et al.*, 2012).

A Figura 3, mostra as perdas e desperdícios de frutas e hortaliças em etapas da cadeia agroprodutiva até o consumidor, sendo que, o somatório de todas estas etapas, caracteriza-se como uma porcentagem superior a 50 % e tem-se uma grande predominância ainda no campo em países desenvolvidos e subdesenvolvidos, devido as exigências nos padrões de qualidade.

Essas perdas podem ser minimizadas se houver um controle adequado nestas etapas (ELIK *et al.*, 2019; FAO, 2011).

Figura 3- Perdas e desperdícios de frutas e hortaliças em diferentes estágios.



Fonte: Adaptado de ELIK *et al.* (2019).

No Brasil, aproximadamente 30 % das frutas e 35 % das hortaliças são perdidas e isso pode ocorrer devido a problemas relacionados a precariedade de padronização de colheita e manipulação inadequada no campo, comercialização a granel, excesso de produtos em embalagens para o transporte, sobrecargas no transporte, problemas nas rodovias que escoam os produtos e excesso de manipulação no ato de compra por parte dos consumidores, que faz com que os produtos se deteriorem com mais rapidez. Logo, as etapas de padronização de colheita, distribuição e comercialização precisam ser levadas em consideração para que se tenha menores perdas na comercialização (LUENGO *et al.*, 2018).

Em geral, as frutas e hortaliças são caracterizadas como produtos perecíveis e por isso, podem possuir uma menor vida útil e ainda serem mais suscetíveis às perdas pós-colheita. Os investimentos em melhorias nas tecnologias de pós-colheita, boas práticas de colheita e embalagens adequadas, podem minimizar as perdas e melhorar as características de qualidade dos produtos *in natura* (ELIK *et al.*, 2019; SANTOS; SILVA, 2008).

O processamento de frutas e hortaliças também pode ser uma forma de minimizar as perdas pós-colheita, pois as técnicas permitem transformar alimentos perecíveis em produtos possíveis de serem armazenados por longos períodos de tempo (SANTOS; OLIVEIRA, 2015). Dentre as técnicas de processamento, está a desidratação, que tem como objetivo reduzir o teor de água dos alimentos para que estes tenham menores chances de desenvolvimento de microrganismos e maior vida útil, além disso, apresentam maior facilidade de armazenamento,

transporte e distribuição, que são umas das principais causas de perdas pós-colheita de produtos *in natura* (SANTOS; SILVA, 2008).

Em relação as frutas secas, estas são utilizadas pelas indústrias de alimentos para a produção de diversos alimentos, são consumidas diretamente ou ainda são utilizadas como ingredientes da indústria farmacêutica e de cosméticos. O processo de desidratação pode garantir maior estabilidade para as frutas e seus nutrientes, com uma possibilidade de vida útil de até um ano e para isto, os alimentos desidratados devem ser armazenados em locais frescos, escuros e secos (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018; PERERA, 2005).

Os problemas de conservação pós-colheita também são observados para as frutas da família Myrtaceae, sendo que a principal dificuldade para a conservação de uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) é a sensibilidade da fruta no manuseio e a sua alta perecibilidade (BRANCO *et al.*, 2016; KROLOW, 2009). A sazonalidade e a vida útil também são preocupações na produção de goiaba (*Psidium guajava*) (TAN *et al.*, 2020).

A perecibilidade e sazonalidade de jambolão (*Syzygium cumini* L.), faz com que autores sugiram métodos de desidratação para aumentar a vida útil desta fruta (TAVARES *et al.*, 2017, 2020). Outras frutas também são caracterizadas como de alta perecibilidade, como é o caso da jabuticaba (INADA *et al.*, 2021), gabioba (*Campomanesia adamantium*) (BREDA; SANJINEZ-ARGANDOÑA; CORREIA, 2012), camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh) (FUJITA *et al.*, 2013) e araçá-boi (*Eugenia stipitata*) (TAVARES *et al.*, 2017).

Logo, os processos de desidratação podem ser uma alternativa para a redução das perdas pós-colheita das frutas da família Myrtaceae, já que as suas distribuições *in natura* podem ser limitadas devido aos problemas relacionados a alta perecibilidade.

2.3 DESIDRATAÇÃO DE ALIMENTOS

A desidratação é uma das operações unitárias mais utilizadas para a conservação de alimentos e seus registros são desde os tempos pré-históricos. Um marco nesse processo, são os períodos de guerras que ocorreram ao redor do mundo, onde a finalidade era suprir as necessidades dos soldados, aumentar a vida útil, diminuir o tamanho e o peso dos alimentos. Os conhecimentos sobre a desidratação adquiridos durante este período, foram importantes para o processo de industrialização (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

No processo de desidratação, comumente o alimento é submetido ao ar quente e através de evaporação, a água presente no alimento é removida e carregada por essa corrente de ar empregada ou ainda, o processo pode ocorrer através da sublimação da água. Mecanismos de transferência de calor e massa são influenciados por parâmetros do processo como: i) temperatura, ii) umidade, iii) velocidade da corrente de ar, iv) umidade relativa do ar e v) pelas características dos materiais (DELGADO; SILVA, 2014; FELLOWS, 2006).

O processo de desidratação resulta na diminuição da atividade de água dos alimentos. Esse fator pode ocasionar no retardamento das reações indesejáveis, bem como inibir o crescimento de microrganismos. Este processo permite obter produtos com maior segurança microbiológica, além de diminuir os custos associados ao manuseio, armazenamento e transporte dos produtos, uma vez que diminuem o peso e podem reduzir o volume (FELLOWS, 2006; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

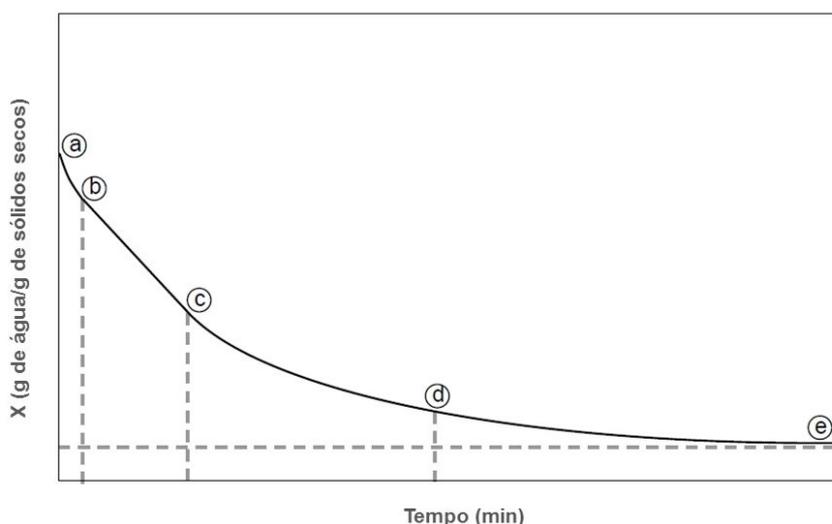
Existem uma variedade de alimentos desidratados encontrados no mercado e que necessitam atender aos critérios de qualidade e de controle do processo. Atualmente, os principais produtos desidratados são bebidas em pó instantâneas, soro de leite, chás, sopas desidratadas, café solúvel, especiarias, frutas secas, leguminosas, cereais matinais, nozes e demais produtos que podem ser utilizados como ingredientes pela indústria de alimentos (ARAYA-FARIAS; RATTI, 2009; FELLOWS, 2006; KUMAR *et al.*, 2023; OZEL *et al.*, 2022).

A legislação brasileira define como requisitos específicos, que os produtos de vegetais secos ou desidratados contenham até 12 % de umidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) e para frutas secas ou desidratadas até 25 % de umidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), além disso, as produções destes alimentos devem seguir os parâmetros de Boas Práticas de Fabricação (BPFs) implementadas pelas leis do país, para que estes alimentos sejam isentos da presença de perigos físicos, químicos ou microbiológicos que possam comprometer a saúde dos consumidores (BRASIL, 2022).

A construção de uma curva cinética gera um dado importante neste processo, pois representa as características do produto desidratado sob condições específicas e deve ocorrer em condições controladas de velocidade do ar e temperatura. Além disso, é importante conhecer o tipo de material a ser desidratado, devido as suas propriedades químicas e também físicas como geometria, espessura e estrutura, pois estas podem causar efeitos nas mudanças do produto (ARAYA-FARIAS; RATTI, 2009; CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; RATTI, 2009). Para a obtenção de uma curva cinética,

o teor de umidade dos alimentos, geralmente é calculado em base seca (razão entre a quantidade de água na amostra e a quantidade de sólidos secos) e deve ser expresso em relação ao tempo de processo. Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os comportamentos típicos de um processo de secagem, sendo assim, na Figura 4 os pontos A-B representam o início de secagem, onde o produto é aquecido, o tempo nesse segmento é geralmente curto, podendo estar presente ou não no processo. A secagem ocorre efetivamente do segmento B-E e após um tempo, o sólido entra em equilíbrio com o meio e o processo pode ser finalizado (ponto E) (ARAYA-FARIAS; RATTI, 2009).

Figura 4- Cinética de secagem em função do tempo.



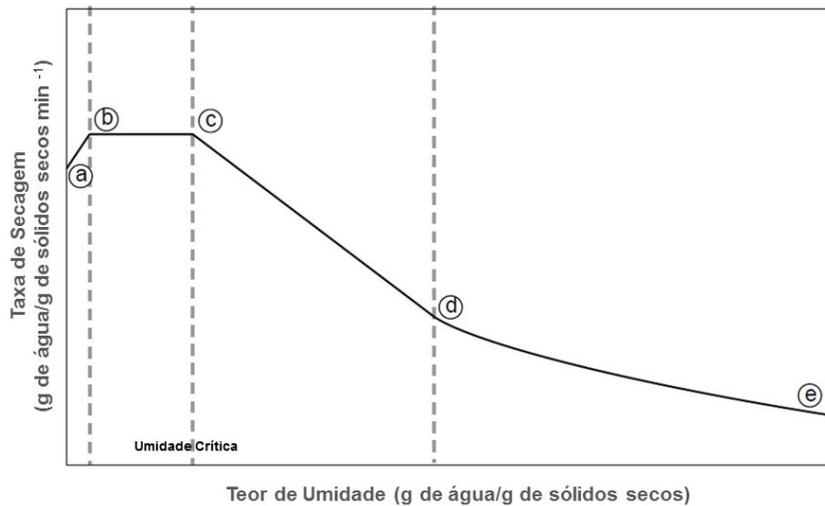
Fonte: Adaptado de ARAYA-FARIAS; RATTI (2009).

A partir dos dados de umidade em função do tempo obtidos nos experimentos cinéticos, podem ser calculados os valores da taxa de secagem (Figura 5).

Assim como na Figura 4, o segmento A-B, representa o início da secagem e a temperatura do sólido é mais baixa, porém a taxa de evaporação aumenta (GEANKOPLIS, 1998). Além disso, o processo exibe três zonas: i) No ponto B, a temperatura da superfície atinge o seu equilíbrio com o ar de secagem, ii) No período de taxa constante (B-C), o material apresenta alta umidade e uma camada de água superficial, que se comporta como se não houvesse a presença do sólido, refletindo então na taxa de evaporação e velocidade do processo, ocorrendo da mesma maneira que um líquido puro. A temperatura nessa etapa se aproxima à de temperatura de bulbo úmido do ar de secagem (GEANKOPLIS, 1998) e iii) No período de taxa decrescente (C-E), não há mais água suficiente no sólido que proporcione a formação de um

filme contínuo, logo, a parte que apresenta maior umidade, começa a secar a ponto de estar completamente seca no ponto D e alcança o teor de umidade de equilíbrio (alimento em equilíbrio com o ar de secagem) no ponto E (GEANKOPLIS, 1998; IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Figura 5- Taxa de secagem em função do tempo.



Fonte: Adaptado de ARAYA-FARIAS; RATTI (2009).

O Quadro 1 mostra a utilização de tecnologias e equipamentos de desidratação que podem ser seleccionados de acordo com o tipo de produto que se deseja realizar as operações e também com a possibilidade de investimento na compra destes equipamentos. É importante o desenvolvimento de novas tecnologias de desidratação para a obtenção de produtos agroindustriais, que beneficiem os consumidores e que possam aumentar a disponibilidade e a variedade de produtos, bem como estes tenham propriedades sensoriais aceitáveis (ZHANG *et al.*, 2017). Com isso, serão aplicados neste estudo três métodos de desidratação, sendo eles secagem convectiva ou por ar quente, secagem em leito de espuma e liofilização.

Quadro 1- Tecnologias e equipamentos de desidratação e seus processos.

Tecnologias de secagem	Produtos	Princípios ou Descrição	Vantagens	Desvantagens
Secagem ao sol	Frutas, hortaliças, carnes, peixes, plantas e ervas aromáticas.	Exposição direta do alimento ao sol.	Baixo custo operacional, simples e baixa temperatura.	Longo tempo de secagem, grande área de produção, deterioração e contaminação microbiana.
Secagem por ar quente	Pequenas partículas, vegetais, frutas e produtos granulares.	O alimento fica em contato com um vapor de ar quente.	Processo simples, contínuo e baixo custo operacional.	Perda da qualidade nutricional, Encolhimento e longo tempo de secagem.
Secador de tambor	Flocos de batata, cereais pré-cozidos, melados, sopas, purês e polpas de frutas e suspensões.	Alimentos secos por aquecimento de vapor no interior dos tambores.	Operação contínua.	Pode exigir modificação do líquido para garantir boa adesão à superfície de secagem.
Secagem em <i>spray</i>	Alimentos líquidos e suspensões, café instantâneo, leite e derivados, ovos, cacau, chás, extratos de carne e leveduras, produtos de amidos de milho e trigo.	O líquido é atomizado (pulverizado), dentro de uma câmara de secagem, onde entra em contato com o ar quente.	Secagem uniforme, rápida, baixo custo e produção em grande escala.	Perda de qualidade por degradação, térmica e potencial de aglomeração.
Liofilização	Frutas e hortaliças, cogumelos, café instantâneo, ervas, especiarias, carne, frutos do mar, produtos de alto valor agregado e para expedições.	A água é congelada e posteriormente removida do alimento por sublimação.	Alto valor nutricional e sensorial, sem restrição de tamanho de partícula e utilização de baixas temperaturas.	Processo lento, caro e longo tempo de processo.

Secagem em leito fluidizado	Pequenas partículas, hortaliças picadas e frutas, sucos de frutas desidratados, leveduras, coco, ervas, café instantâneo, açúcar, chás e produtos com alto valor agregado.	O material seco enquanto suspenso em um gás de fluxo ascendente vapor (ar quente).	Alta eficiência térmica, altas taxas de secagem devido ao contato do vapor com as partículas, baixo custo e manutenção.	Podem exigir partículas relativamente pequenas e uniformes.
Secagem em leito de jorro	Partículas inertes, pastas, produtos granulares especialmente de trigo, milho, aveia e outros cereais, alimentos sensíveis ao calor.	O alimento é suspenso em um sistema de leito de jorro, onde entra em contato com o ar quente.	Altas taxas de secagem, baixos tempos e temperatura de secagem.	Problemas no aumento de escala e controle do padrão cíclico
Secagem a vapor superaquecido	Partículas sólidas, produtos de valor agregado, de alta sensibilidade ao oxigênio e biomateriais.	O vapor superaquecido atua como fonte de calor e meio de secagem para remover a água evaporada.	Altas taxas de secagem, mantem a qualidade do produto (evita oxidação do produto), controle simples do processo e eficiência de secagem aprimorada.	Vácuo, construção do secador com temperatura de condensação acima da temperatura de vapor superaquecido.
Secagem por micro-ondas e radiofrequência	Frutas e vegetais, produtos de alto valor agregado, produtos de massas e biscoitos.	Os alimentos são aquecidos e secos por energia eletromagnética; Micro-ondas: frequências de secagem de 300 a 3000 MHz e Radiofrequência: frequências de 1 a 300 MHz.	Eficiência de conversão de energia, uniformidade na secagem, curto período de secagem, efeitos físico-químicos desejáveis, melhor controle do processo.	Processo caro, falta de uniformidade do campo eletromagnético, alto custo de instalação.

Fonte: Adaptado de FELLOWS (2006) e RATTI (2009).

2.3.1 Secagem Convectiva

O método de secagem convectiva é muito utilizado a nível laboratorial e industrial, nesse processo, uma corrente de ar é fornecida e entra em contato com o material, realizando a transferência de calor necessária para que a água seja transportada e removida do material (DELGADO; SILVA, 2014).

No processo de secagem convectiva, de acordo com Zhu *et al.* (2021), a temperatura do material aumenta pois ocorre o processo de transferência de calor convectiva do ar para a superfície do material o que ocasiona a evaporação contínua da água. O vapor de água presente no alimento se movimenta até a superfície do sólido preferencialmente por mecanismos difusionais, sendo carregado pelo ar em circulação, levando a redução de umidade.

A Figura 6 mostra o processo em um secador de bandejas, a entrada do ar quente, bem como a direção do fluxo do ar. Os métodos que utilizam o ar quente para secar alimentos são versáteis e apresentam grande importância para o setor (GUINÉ, 2018).

Figura 6- Secagem convectiva em secador de bandejas.



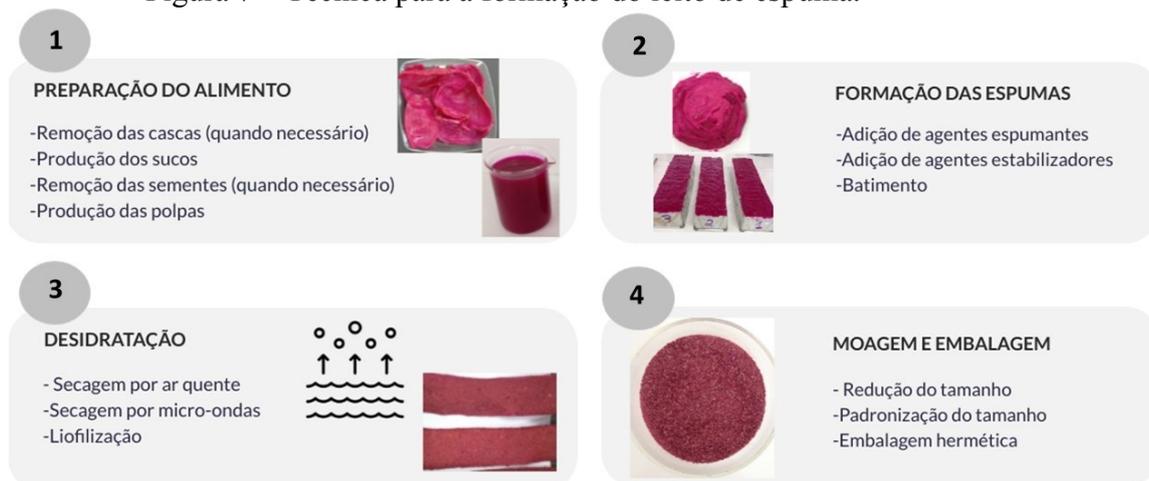
Fonte: Adaptado de GUINÉ (2018).

A secagem convectiva é de fácil operação e os equipamentos são de mais baixo custo, contudo, pode ser um processo que necessita de longos períodos de tempo e uma permanência prolongada a exposição ao ar de secagem e com isso, podem gerar como consequências, a redução no teor de compostos desejados, alteração de cor, textura e aromas. Além disso, o processo pode causar alterações físicas nos materiais, como o encolhimento do produto, mudança na densidade, endurecimento que pode diminuir o fluxo de passagem para a remoção da água e pode ocasionar alterações na temperatura de transição vítrea. Essas mudanças podem ser indesejáveis dependendo das características do produto, por isso, o controle do processo tem grande importância (MOHAN; TALUKDAR, 2014; NAWIRSKA *et al.*, 2009).

2.3.2 Secagem em leito de espuma

Na secagem em leito de espuma, ocorre a formação de uma espuma líquida (podem ser adicionados agentes espumantes), seguida por sua estabilização (pode se fazer uso de agentes estabilizadores) e secagem. O processo ocorre com a utilização de batedeiras ou outros dispositivos que podem ser projetados de acordo com a necessidade, mas que promovem a incorporação de bolhas de ar (fase dispersa) na matriz líquida ou pastosa (fase contínua) com conseqüentemente formação das espumas, fazendo com que estas estejam aptas para serem espalhadas sobre uma superfície lisa, como uma fina camada e posteriormente submetidas à secagem até atingirem a umidade desejada (SANGAMITHRA *et al.*, 2015). A Figura 7 mostra as etapas de desenvolvimento da técnica.

Figura 7 – Técnica para a formação do leito de espuma.



Fonte: Adaptado de QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF (2020) e imagens Autora (2023).

Os produtos secos por leito de espuma possuem estruturas semelhantes a um favo de mel (MOUNIR, 2018) e são porosos, como consequência da incorporação de ar e devido ao espalhamento em fina camada e no final os produtos podem ser moídos e transformados em pós (SANGAMITHRA *et al.*, 2015).

No processo de batimento, obtém-se um aprisionamento de uma grande quantidade de ar no interior de um líquido, produzindo inicialmente as bolhas de ar que se apresentam em tamanhos maiores, mas que se dividem em diversas bolhas de tamanhos menores à medida que se prossegue o batimento (SANGAMITHRA *et al.*, 2015; QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020).

A adição de agentes espumantes pode ocorrer por dois motivos: o alimento não possui a propriedade de formação de espumas ou ele tem capacidade reduzida de formação de espumas. Em ambos os casos, podem ser incorporados agentes que promovem a formação de espuma de forma a garantir uma boa incorporação de ar ao material a ser seco. Dentre esses agentes, podem ser destacados a proteína de soja hidrolisada, proteína isolada de soja, lecitina de soja, estearato de poliglicerol, gelatina, clara de ovo em pó e proteína concentrada de leite (HARDY; JIDEANI, 2017; QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020).

Por outro lado, o objetivo da adição de agentes estabilizadores, é promover um aumento da estabilidade das estruturas das espumas durante o espalhamento e secagem, evitando ou retardando o seu colapso. Com esta finalidade, tem sido utilizado agentes como a carboximetilcelulose, ágar, alginato de sódio, dextrina, metilcelulose, goma xantana, goma arábica, pectina, amidos, albumina, clara de ovo, gelatina e monoestearatos (HARDY; JIDEANI, 2017; TEKGÜL, 2021). A adição destes agentes faz com que as espumas, quando submetidas à secagem, permaneçam estáveis, caso contrário, perde-se o propósito da utilização da técnica (QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020).

A eficácia do processo depende dos tipos e dos agentes utilizados para a formação das espumas e podem ser avaliadas através da densidade, capacidade espumante e estabilidade da espuma. Espumas que apresentam densidade baixa e não colapsem em um determinado período de tempo, são consideradas adequadas para prosseguirem para a etapa de secagem (SANGAMITHRA *et al.*, 2015; MOUNIR, 2018).

A secagem em leito de espuma é utilizada para produtos como sucos ou purês de frutas e vegetais que possuem compostos sensíveis ao calor, que apresentam teores significativos de açúcares e texturas gomosas ou viscosas. Este processo se caracteriza por ter baixo custo, facilidade de operação e pode ter maior taxa de secagem quando comparado a outros métodos (QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020; TEKGÜL, 2021). Outra vantagem desse método, é a capacidade de reidratação do material, devido as estruturas porosas dos produtos formados (HARDY; JIDEANI, 2017).

Quando se compara as taxas de secagem e o tempo de secagem de produtos secos de forma convencional com produtos obtidos por leito de espuma, verifica-se no último, maiores taxas de secagem, devido ao aumento da área de superfície formada na interface líquido-gás, ocasionando maior movimento da água no interior do produto e conseqüentemente menores tempos de secagem. Sendo assim, estas características do processo, podem fazer com que os

produtos formados tenham as suas características nutricionais e sensoriais preservadas (KADAM; BALASUBRAMANIAN, 2011; TEKGÜL, 2021).

2.3.3 Liofilização

A liofilização era empiricamente aplicada pelos Incas há muitos séculos, isso porque, as baixas temperaturas das montanhas congelavam os alimentos, que posteriormente com o calor do sol, associado com a baixa pressão do ar, criavam um gradiente de vapor que promovia a remoção lenta da água contida no interior do alimento (RATTI, 2009).

Em 1906 surgiram os primeiros registros sobre a possibilidade de desidratar um produto sensível utilizando congelamento e vácuo de forma moderada, aplicada em soros e vacinas (REY; MAY, 1999).

O processo de liofilização em grande escala ocorreu em torno de 1940, com o objetivo de produzir plasma seco e outros materiais sanguíneos para serem utilizados no salvamento de pessoas nos campos de guerras, mais tarde, utilizou-se para a obtenção de antibióticos, vacinas e materiais biológicos, destacando-se a preservação de Penicilina e estabilização de vacinas (IBARZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; REY; MAY, 1999).

A liofilização também começou a ser empregada nos programas espaciais, sendo pioneira no Programa Gemini da *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, onde os alimentos oferecidos aos astronautas eram todos desidratados. Esse primeiro teste, tinha como objetivo produzir alimentos que fossem aceitáveis pela equipe de astronautas, que se reconstituíssem em água a temperatura ambiente e que suprissem as suas necessidades nutricionais. Os produtos desidratados e liofilizados neste programa incluíam bebidas, pudins, sopas, aperitivos, frutas e hortaliças, sendo posteriormente empregados em programas como o Apollo e Skylab (KLICKA; SMITH, 1982).

O processo de liofilização é uma operação unitária que promove a remoção do solvente de uma formulação líquida (no caso de alimentos, a água) por meio de sublimação e dessorção. O processo ocorre em três etapas: i) congelamento, ii) desidratação primária e iii) desidratação secundária (BHUSHANI; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; WAGHMARE *et al.*, 2021).

2.3.3.1 Congelamento

O congelamento é a etapa inicial da liofilização, sendo que as amostras são submetidas a temperaturas abaixo do ponto de congelamento da água de forma que se tornam sólidas. Os produtos são congelados em equipamentos convencionais, utilizando nitrogênio líquido, *ultrafreezers* ou utilizando o sistema do próprio liofilizador (MORAIS *et al.*, 2016).

Nesse processo, entre 65 a 90 % da água presente no alimento é congelada, restando a água que encontra na forma ligada ou adsorvida. O congelamento representa uma etapa crítica no processo de liofilização, pois a microestrutura do material, a sua reconstituição e as condições de armazenamento do produto final, são dependentes desta etapa (BHUSHANI; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

Quando se deseja congelar alimentos sólidos, deve ser utilizado o congelamento rápido, pois neste processo, são originados cristais de gelo de tamanhos pequenos e mais numerosos, além disso, também ocorre uma redução nos danos a estrutura celular do alimento. Por outro lado, a liofilização de alimentos líquidos, permite utilizar congelamento lento, pois ocorre uma formação de redes de cristais de gelo, que permitem a formação de canais para a movimentação do vapor d'água (FELLOWS, 2006).

2.3.3.2 Desidratação Primária

Nessa etapa, ocorre a remoção da água durante a desidratação, para isso, a câmara é submetida a vácuo, provocando a redução da pressão, para que ocorra a mudança de fase da água que está no estado sólido para a fase gasosa (sublimação). Nesta etapa o controle da temperatura é de grande importância para a obtenção dos produtos finais e com qualidade elevada (BHUSHANI; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

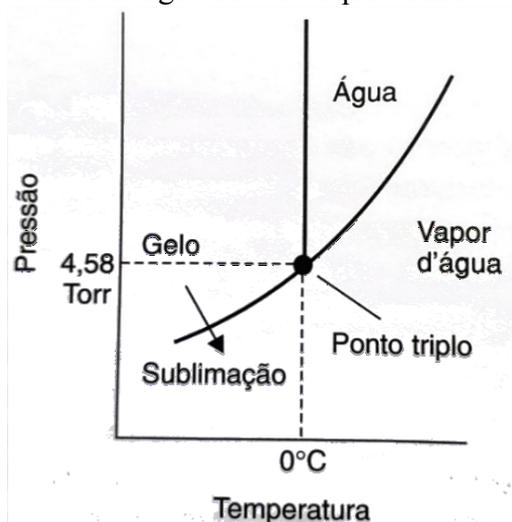
Se a pressão do vapor d'água de um produto está abaixo de 4,58 Torr (610,5 Pa) e a água está congelada, no momento que o produto é aquecido, o gelo passa para a fase de vapor e não ocorre o processo de fusão, conforme pode ser observado no diagrama de fases da água apresentado na Figura 8 (FELLOWS, 2006).

A sublimação é um processo de mudança de fase, onde ocorre a saída do vapor d'água dos alimentos por meio dos canais porosos resultantes do processo de congelamento e então, esse vapor é removido por processos de difusão ou convecção, para isso, primeiro ocorre a

sublimação na superfície e o vapor d'água se move até a parte inferior do material, fazendo com que este fique desidratado. A porosidade também é um fator importante, uma vez que, o tamanho desses poros, afetam positivamente ou negativamente a difusão do vapor no material (BHUSHANI; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; MORAIS *et al.*, 2016).

Nessa etapa é importante o controle da temperatura, uma vez que, a temperatura do material deve estar abaixo da sua temperatura de colapso, que ocorre quando o material passa de um estado vítreo para um estado amorfo gomoso, porque o sistema atinge a temperatura de transição vítrea. Se isto acontecer, mudanças irreversíveis e instantâneas ocorrem no material, podendo então, comprometer a taxa de transferência de vapor de modo a interromper o processo (FELLOWS, 2006; MORAIS *et al.*, 2016).

Figura 8- Diagrama de fases da água com enfoque na sublimação do gelo.



Fonte: FELLOWS (2006).

2.3.3.3 Desidratação Secundária

Na etapa de desidratação secundária, ocorre o processo de remoção da água não congelada por evaporação (dessorção), chegando até valores de umidade de 2 % (BHUSHANI; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; FELLOWS, 2006). O processo de dessorção ocorre em função do aumento na temperatura do equipamento, ficando próxima a temperatura ambiente, embora mantenha baixa pressão dentro do sistema (FELLOWS, 2006).

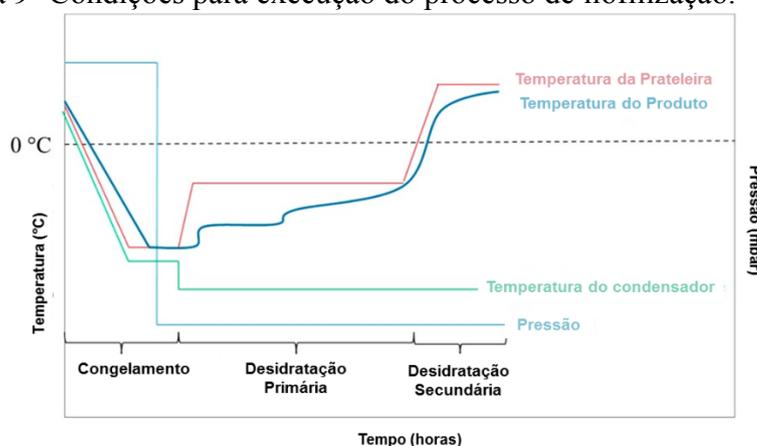
Para produtos amorfos, deve ocorrer um aumento lento na rampa de temperatura, uma vez que, se o processo for rápido, pode levar ao colapso dos materiais, devido ao alto teor de

umidade. Já os produtos cristalinos, não ocorre o colapso nesta etapa, logo, o aumento na rampa de temperatura pode ocorrer de forma mais rápida (TANG; PIKAL, 2004).

2.3.3.4 Etapas e vantagens do processo de liofilização

A Figura 9, mostra as condições adequadas para o funcionamento do liofilizador e foram descritas por Morais *et al.* (2016).

Figura 9- Condições para execução do processo de liofilização.



Fonte: Adaptado de MORAIS *et al.* (2016).

Na primeira etapa, ocorre uma queda na temperatura da superfície do alimento através do congelamento. Já na secagem primária, há uma redução da pressão até que atinjam valores mais baixos do que a pressão de vapor do gelo, ao passo que, ocorre um aumento na temperatura da prateleira para que haja a sublimação do gelo e esta ocorre até que a temperatura da prateleira e do produto estejam próximas. Na etapa de secagem primária, o material se torna poroso, devido a remoção da água. Na última etapa, de secagem secundária, a temperatura da prateleira aumenta, bem como a temperatura do material permanece mais alta e se reduz a pressão, com isso, ocorre a dessorção da água.

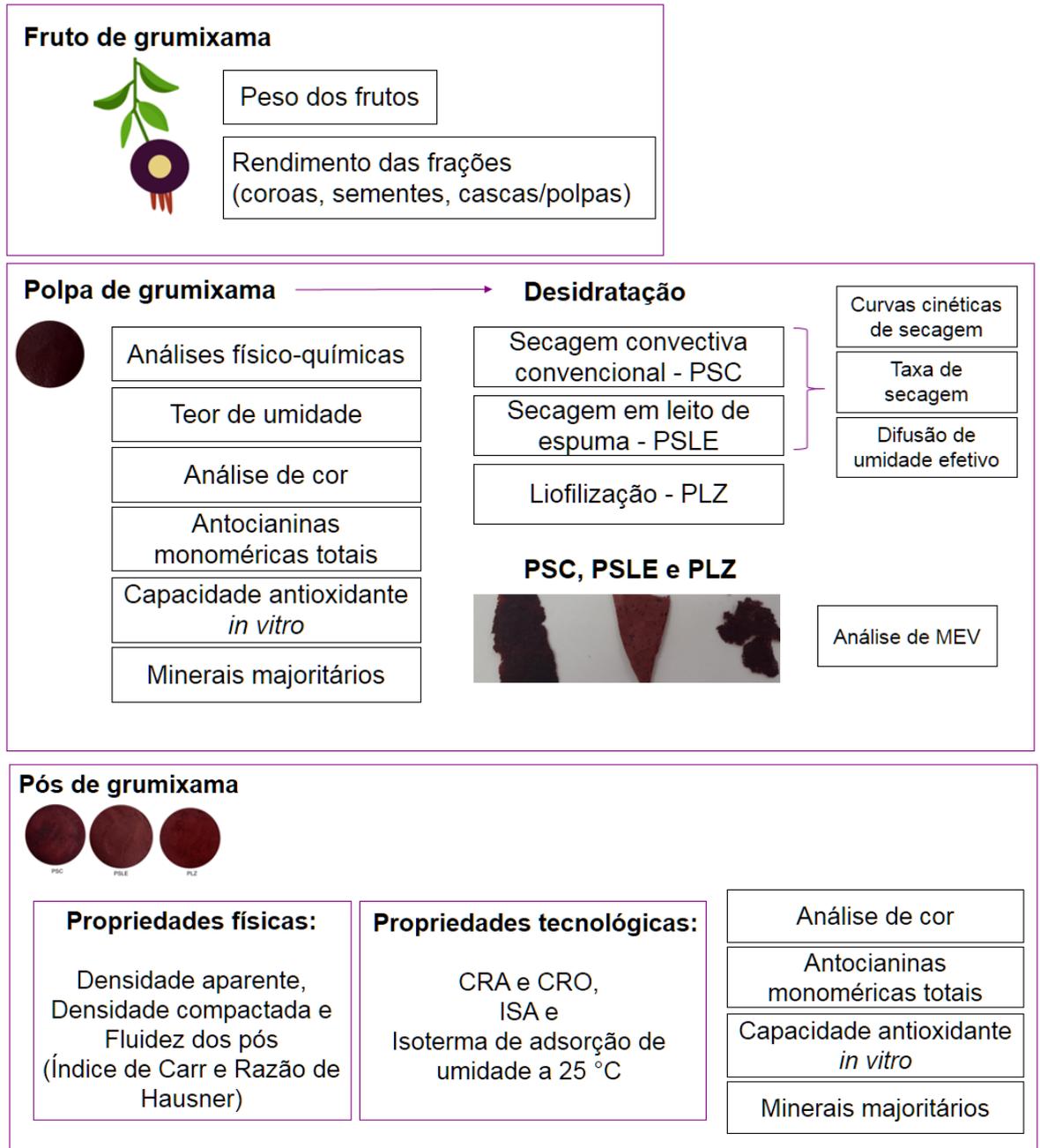
No processo de liofilização, obtém-se produtos de maior qualidade, devido ao emprego de baixas temperaturas, baixa exposição ao oxigênio e menores modificações dos materiais, quando comparados com outros processos, além disso, geram produtos de fácil reidratação devido a estrutura formada com a saída de água e pode ocorrer uma maior preservação da coloração (SANGAMITHRA *et al.*, 2015; HARDY; JIDEANI, 2017).

Em contrapartida a energia necessária para manter o vácuo durante todo o processo de liofilização, encarece o processo, logo, esta é a principal desvantagem do método e por isso, resulta em um processo de alto custo e acaba sendo restrito a produtos de mais alta qualidade e valor agregado (LIU; ZHANG; HU, 2022; SANGAMITHRA *et al.*, 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 10, mostra um esquema representativo do desenvolvimento experimental contendo as análises realizadas nos frutos de grumixama, na fração de polpa e nos produtos em pó.

Figura 10- Esquema do desenvolvimento experimental.



Fonte: Autora (2023).

3.1 MATERIAL

A colheita da grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) foi realizada entre os dias 02 e 27 de dezembro de 2021, na Fazenda Experimental da Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada na cidade de Florianópolis-SC (27°68'54.0''S, 48°54'30.8''W). Foram colhidos 8 Kg dos frutos maduros e estes foram acondicionados em caixas térmicas e transportados para o laboratório de Tecnologia de Alimentos da UFSC.

Para a formação das espumas, foi utilizado o Isolado Proteico de Soja – IPS 90% doado pela empresa GlobalFood - Advanced Food Technology (Brasil) e Alginato de sódio de média viscosidade - viscosidade de 350-550 mPa.s GRINDSTED® Alginato FD/PH 175, Danisco (Brasil). O óleo de girassol foi adquirido no comércio local de Florianópolis e da marca Salada (Brasil). Os reagentes 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), reagente Folin-Ciocateu, 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazina (TPTZ), ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox), ácido gálico, K⁺, Ba²⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺ e imidazol foram adquiridos da empresa Sigma-Aldrich (EUA). O carbonato de sódio, acetato de sódio, cloreto de potássio, hidróxido de sódio, ácido gálico, metanol P.A, etanol P.A, acetona P.A, ácido clorídrico e cloreto férrico hexaidratado foram adquiridos da empresa Neon (Brasil). Os sais de cloreto de lítio, cloreto de magnésio, carbonato de potássio, brometo de sódio, cloreto de sódio, cloreto de potássio e cloreto de bário foram da empresa Vetec (Brasil). Ácido acético e ácido láctico foram adquiridos da empresa Merck (Brasil).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparo das amostras

Os frutos foram selecionados através de análises subjetivas (aspecto do fruto em seu pleno desenvolvimento fisiológico, sem defeitos físicos ou danos causados por insetos e seleção dos que apresentassem as colorações de roxo escuro a preto). Em seguida, foram higienizados em água corrente e sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio (100 mg/L) por 15 minutos. Imediatamente após a limpeza, os frutos foram despulpados manualmente e separados das coroas/sementes.

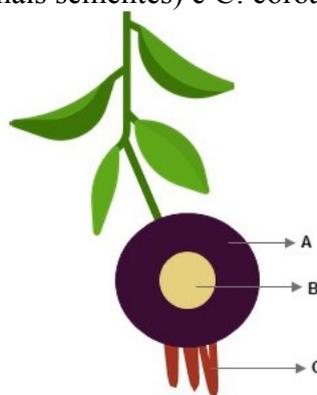
As polpas foram homogeneizadas em liquidificador doméstico (Arno, power mix, Brasil) a 520 W e por 3 minutos na velocidade máxima do equipamento. As polpas foram fracionadas, armazenadas em embalagens de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), fechadas e congeladas a -18 °C em freezer doméstico (Consul, Brasil), até o momento da utilização.

3.2.2 Massa dos frutos e rendimento das frações dos frutos

Os frutos inteiros ($n=10$) foram pesados em balança semi-analítica (Bel engineering, S2202H, Itália) e os resultados foram expressos em massa (g). Para o rendimento, os frutos ($n=30$) foram separados em três frações: i) casca e polpa (fração que foi denominada de “polpa” no desenvolvimento do trabalho), ii) semente e iii) coroa (Figura 11). Cada fração foi pesada e os resultados foram expressos em porcentagem (%). As medidas foram feitas em triplicata ($n=3$).

Figura 11 - Representação da grumixama.

Onde as frações dos frutos foram divididas em: A: casca e polpa, B: semente (podendo conter uma ou mais sementes) e C: coroa.



Fonte: Autora (2023).

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS POLPAS

3.3.1 Análises físico-químicas e determinação de umidade

Prévio ao congelamento, frações de polpa foram reservadas para a realização das análises de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e umidade. As análises foram realizadas

de acordo com os métodos do Instituto Adolfo Lutz (2008) e as amostras foram obtidas em triplicata ($n=3$).

Para a análise de pH, utilizou-se o potenciômetro (Sensoglass, SP1800, Brasil) previamente calibrado com as soluções tampão de pH 4 e 7 e posteriormente foram realizadas as medidas das amostras.

Para a determinação da acidez total titulável, 5 g de amostra foram diluídas em 50 mL de água destilada e tituladas com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M, até a faixa de pH (8,2-8,4). Os cálculos foram realizados conforme a Equação 1. Os resultados foram expressos em ácido orgânico correspondente (g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de amostra).

$$\text{Acidez total titulável} = \frac{V * F * M * MM}{10 * P * n} \quad (1)$$

Onde V é o volume de NaOH gasto na titulação (mL), M é a molaridade da solução de NaOH, P é a massa de amostra (g), MM é a massa molecular do ácido correspondente em g (ácido cítrico: 192 g), n é o número de hidrogênios ionizáveis (n:3) e F é o fator de correção da solução de NaOH.

A determinação dos sólidos solúveis foi realizada através de refratometria por leitura direta e para isso, foi utilizado o refratômetro analógico (Grandindex, RSG-100 ATC, China) previamente calibrado com água destilada a 25 °C. Os valores foram expressos em °Brix.

Para a determinação de umidade, 5 g de amostra foram pesadas em cápsulas de alumínio (previamente secas em estufa a 80 °C) e levadas para estufa com circulação de ar a 80 °C até obter massa constante. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) (base úmida).

3.3.2 Análise de cor

A polpa de grumixama foi descongelada *overnight* em temperatura de refrigeração (6 a 10 °C), homogeneizadas e transferidas para cubetas de plástico. As medidas foram realizadas utilizando o colorímetro portátil (Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta, Japão) previamente calibrado e ajustado para operar com iluminante D65 e ângulo de observação de 10 °.

As leituras foram realizadas para obter os valores das coordenadas cromáticas L^* , a^* e b^* e as médias foram calculadas (AZIZPOUR; MOHEBBI; KHODAPARAST, 2016). Além

disso, foram calculados através das Equações 2 e 3, o ângulo Hue (H°) e o parâmetro Chroma (C^*) que definem o tom e a intensidade da cor, respectivamente. As medidas foram realizadas em triplicata ($n=3$).

$$h^\circ = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (3)$$

3.3.3 Preparo dos extratos e análise de antocianinas monoméricas totais

Para a análise de antocianinas monoméricas totais, a extração foi realizada utilizando a metodologia de Nehring *et al.* (2022) e com modificações. Em 5 g de amostra foi adicionado 25 mL da solução metanol/água/1% HCl 1,5 M (80:20 v/v) em frasco âmbar. A seguir a suspensão foi acondicionada sob refrigeração por 24 horas, agitada ocasionalmente e posteriormente filtrada, obtendo-se o extrato.

A quantificação das antocianinas monoméricas totais foi realizada pela metodologia descrita por Giusti e Wrolstad (2001). Para isso, foram preparadas as soluções tampões de cloreto de potássio 0,025 M (pH 1,0) e acetato de sódio 0,4 M (pH 4,5), quando necessário, o pH das soluções foi ajustado utilizando HCl P.A. O extrato foi diluído em solução tampão de acetato de sódio ou cloreto de potássio na proporção 0,5:10 (v/v). Após determinada a diluição foram feitas as leituras em espectrofotômetro (Hitachi, U-2900, China) nos comprimentos de onda de máxima absorção (faixa de 510 a 520 nm) e a 700 nm. O branco foi analisado utilizando água destilada. As análises foram realizadas em ambiente escuro, em duplicata ($n=2$) e os cálculos de acordo com a Equação 4. Os resultados foram expressos em mg equivalente de cianidina-3-glicosídeo por 100 g⁻¹ de massa fresca e também em mg equivalente de cianidina-3-glicosídeo por g⁻¹ de sólidos secos.

$$\text{Antocianinas monoméricas totais} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times MM \times FD \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (4)$$

Onde A é a absorbância = $(A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{\text{pH } 1,0} - (A_{\lambda 520} - A_{\lambda 700})_{\text{pH } 4,5}$, MM é a massa molecular da cianidina-3-glicosídeo (449,2 g mol⁻¹), FD é o fator de diluição da amostra, ϵ é

absortividade molar da cianidina-3-glicosídeo ($26.900 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), 1000 é o fator de conversão de g para mg e l é o comprimento de onda em cm.

3.3.4 Preparo dos extratos e avaliação da capacidade antioxidante *in vitro*

Para as análises de capacidade antioxidante *in vitro*, inicialmente foram preparados os extratos de polpa de grumixama e para isso, foi utilizada a metodologia descrita por Nehring *et al.* (2022). Para o preparo dos extratos, em 5 g de amostra foi adicionado 25 mL da solução de acetona/água (80:20 v/v) e esta foi mantida sob agitação em agitador magnético a 1.200 rpm (Ika, C-MAG H57, Brasil), pelo período de 1 h, a temperatura ambiente (25 °C) e ao abrigo de luz. A seguir, a suspensão foi centrifugada a 2.000 g por 10 minutos (Hermle, Z200A, Alemanha) e o sobrenadante foi coletado e filtrado para a realização das análises.

3.3.4.1 Capacidade redutora do reagente Folin-Ciocateu -CRFC

A análise foi realizada conforme a metodologia descrita por Singleton, Orthofer e Lamuela-Raventós (1999) e com modificações. Foi construída uma curva padrão utilizando o ácido gálico a partir de solução estoque de 1000 mg L^{-1} de ácido gálico, que foi diluída sequencialmente de modo a obter as concentrações de 200, 400, 600, 800 e 1000 mg L^{-1} . O branco foi analisado utilizando somente água destilada.

A análise foi realizada utilizando microvolumes e para isso, 15 μL de cada uma das soluções, 15 μL de Folin-Ciocateu e 240 μL de água destilada foram transferidos para microplaca de 96 poços, após 3 minutos foram adicionados 30 μL de carbonato de sódio. A seguir, a microplaca foi agitada por 15 segundos, deixada em repouso por 1 h e procedeu-se a leitura em espectrofotômetro de microplacas a 720 nm (SpectraMax Paradigm, Molecular Devices, EUA). O mesmo procedimento foi realizado para os extratos, porém estes foram diluídos em solução aquosa de acetona 80 % (v/v) na proporção de 1:10 (extrato: solução). O branco foi analisado utilizando somente água destilada.

Para os cálculos foram utilizados os dados da curva padrão e as leituras das absorbâncias das amostras. Os resultados foram expressos em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por 100 g^{-1} de massa fresca e em mg equivalente de ácido gálico (EAG) por g^{-1} de sólidos secos. Todas as amostras foram analisadas em triplicata ($n=3$).

3.3.4.2 Método: Redução do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil – DPPH

Para a determinação da capacidade antioxidante foi utilizado o método de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), como modificações de Nehring *et al.* (2022).

Uma curva padrão foi construída utilizando Trolox, para isso, foi preparada uma solução estoque de $150 \mu\text{M L}^{-1}$ de Trolox e esta foi diluída de modo a manter as concentrações de 9,35; 18,7; 37,4; 75; 112,5; 135 e $150 \mu\text{M L}^{-1}$. Para o branco foi utilizado metanol P.A.

As análises foram realizadas utilizando microvolumes e para isso, $260 \mu\text{L}$ de DPPH foram transferidos para microplaca de 96 poços e foi realizada a leitura em espectrofotômetro de microplacas a 517 nm (SpectraMax Paradigm, Molecular Devices, EUA) (Absorbância no tempo inicial – A_0). Após a leitura, foram adicionados $40 \mu\text{L}$ de cada uma das soluções da curva, a mistura foi homogeneizada, deixada em repouso a temperatura ambiente e ao abrigo de luz. Passados 30 minutos, foi realizada uma nova leitura da absorbância (Absorbância final – A_{30}) no mesmo comprimento de onda que foi realizada a leitura inicial. O procedimento também foi realizado para os extratos, porém estes foram diluídos em solução aquosa de acetona 80 % (v/v) na proporção de 1:50 (extrato: solução v/v). Para o branco foi utilizado acetona 80 %.

O percentual de inibição das amostras testadas sobre o radical DPPH foi calculado através da absorbância inicial e após 30 minutos, conforme a Equação 5.

$$\% \text{ Inibição do radical DPPH} = \left[1 - \frac{A_{30}}{A_0} \right] * 100 \quad (5)$$

Os cálculos foram realizados utilizando os dados da curva padrão e as leituras de absorbância das amostras. Os resultados foram expressos em μM equivalente de Trolox (TE) por 100 g^{-1} de massa fresca e em μM equivalente de Trolox (TE) por g^{-1} de sólidos secos. Todas as amostras foram analisadas em triplicata ($n=3$).

3.3.4.3 Método: Redução do ferro - FRAP

Para a determinação da capacidade antioxidante foi utilizado o método de Benzie e Strain (1996), com modificações de Granato e Nunes (2016). A curva padrão foi construída

utilizando Trolox, para isso o reagente foi preparado nas seguintes concentrações de 0,075; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3 e 0,4 $\mu\text{M mL}^{-1}$. Para o branco foi utilizado água destilada.

As análises foram realizadas utilizando microvolumes e para isso, 20 μL de cada uma das soluções da curva foram misturadas com 280 μL do reagente de FRAP (consiste na mistura de TPTZ, tampão acetato de sódio pH= 3,6 e cloreto férrico hexaidratado) e transferidos para microplacas de 96 poços. A microplaca foi incubada a 37 °C por 30 minutos e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro de microplacas a 593 nm (SpectraMax Paradigm, Molecular Devices, EUA) e em condições ácidas (pH= 3,6). O procedimento também foi realizado para os extratos, porém estes foram diluídos em solução aquosa de acetona 80 % (v/v) na proporção de 1:50 (extrato: solução v/v). Para o branco foi utilizado o reagente de FRAP. Os resultados foram expressos em μM equivalente de Trolox (TE) por 100 g^{-1} de massa fresca e em μM equivalente de Trolox (TE) por g^{-1} de sólidos secos. Todas as amostras foram analisadas em triplicata ($n=3$).

3.3.5 Determinação de minerais majoritários

O preparo das amostras foi realizado dissolvendo 2 g da polpa de grumixama *in natura* em 50 mL de água ultrapura e submetendo a suspensão a agitação por 30 minutos em agitador magnético a 1.200 rpm (Ika, C-MAG H57, Brasil). Posteriormente foi retirada uma alíquota de 2 mL da solução, que foi centrifugada a 14.000 rpm por 10 minutos, em centrífuga de microtubos (Eppendorf, Mini spin plus, Alemanha). Uma alíquota do sobrenadante foi diluída na proporção 9:1 (v/v) com padrão interno cloreto de bário (5 mM) e então injetada no sistema de eletroforese capilar.

Para a determinação dos minerais majoritários, utilizou-se o método descrito por Rizelio *et al.* (2012), onde o sistema utilizado foi o de eletroforese capilar (Agilent Technologies, 7100, EUA), equipado com um detector de arranjos de diodos, a injeção ocorreu de forma hidrodinâmica a -50 mbar por 3 segundos, tensão de separação de -15 kV, além disso a temperatura foi controlada (20 °C). A detecção foi definida em 215 nm; detecção indireta, com referência em 450 nm para inversão de pico. Foi utilizado capilares de sílica fundida (Phoenix, Polymicro Technologies, EUA), com dimensões de 48,5 cm de comprimento total, 40 cm de comprimento efetivo e 75 μm de diâmetro interno. As condições de condicionamento do capilar antes da corrida, seguiram os descritos na metodologia. O eletrólito de corrida

apresentou composição de imidazol (30 mmol/L), ácido acético (300 mmol/L) e ácido láctico (pH 3,0) (140 mmol/L).

Os dados foram obtidos e tratados através do *software* HP ChemStation, rev. A.06.01. Foram avaliados os minerais sódio (Na), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg) e manganês (Mn), bem como a soma total destes para cada amostra e os resultados foram expressos mg 100⁻¹ de sólidos secos.

3.4 DESIDRATAÇÃO DA POLPA

Foram avaliados três processos de desidratação da polpa de grumixama: secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização. Foram determinadas as umidades iniciais das amostras submetidas aos três processos de desidratação conforme a metodologia descrita no item 3.3.1.

3.4.1 Secagem convectiva da polpa

A polpa de grumixama foi descongelada *overnight* em temperatura de refrigeração (6 a 10 °C), homogeneizada e espalhada em bandejas de aço inox com espessura controlada de 1 mm. Em seguida, foram levadas para a estufa com circulação e renovação de ar (Tecnal, TE39412, Brasil), com velocidade do ar de 0,6 ms⁻¹ e a 70 °C.

Para a construção da curva cinética de secagem as bandejas foram retiradas da estufa e pesadas em balança semi-analítica a cada 10 minutos, até obter massa constante. Uma rotação das bandejas no interior da estufa também foi realizada para garantir a equivalência da passagem do ar de secagem. A variação da massa das amostras em função do tempo foi acompanhada.

Os produtos resultantes deste processo foram codificados como PSC, que caracteriza a polpa seca de forma convectiva. Após a secagem, os materiais foram colocados em embalagens de PEBD aluminizadas para evitar a degradação pela luz. Foram construídas as curvas de massa (g) em função do tempo (min) e em triplicata ($n=3$).

3.4.2 Secagem em leito de espuma

Para a realização da secagem em leito de espuma da polpa de grumixama, previamente foram feitos testes para formulação da espuma, além disso, foram avaliados os parâmetros de densidade, capacidade espumante e estabilidade.

3.4.2.1 Formulação das espumas, análise de densidade, capacidade espumante e estabilidade

A polpa de grumixama foi descongelada *overnight*, em temperatura de refrigeração (6 a 10 °C) e homogeneizada. Para a preparação das espumas, foi analisado o efeito da adição de uma solução de Isolado Proteico de Soja (IPS) e do alginato de sódio, que foram incorporados na formulação com o objetivo de atuarem como agente espumante e estabilizador de espuma, respectivamente.

Inicialmente, foi preparada uma solução de Isolado Proteico de Soja (IPS) a 4 % (m/v) e o pH da solução foi ajustado para 3,0, utilizando o ácido cítrico 1 M. Para preparar 518 g de formulação foi utilizado 38,61 % (m/m) de polpa de grumixama *in natura*, 60,23 % (m/m) da solução de isolado proteico de soja a 4 % e 1,16 % (m/m) de alginato de sódio.

Para evitar a formação de grumos, o alginato de sódio foi misturado a polpa de grumixama *in natura* e estes foram homogeneizados por 3 minutos, utilizando *mixer* (Modial, M-07, Brasil).

Para a formação da espuma, primeiramente, a solução de IPS foi batida por 6 minutos em batedeira planetária (Arno, SX80, Brasil) e na velocidade máxima, até obter uma espuma e após foi incorporado na espuma de IPS, a polpa de grumixama *in natura* e o alginato de sódio e batida novamente, porém pelo tempo de 1 minuto e em velocidade máxima.

3.4.2.1.1 Determinação da densidade e capacidade espumante

Para determinar a densidade e a capacidade espumante foram utilizados os métodos descritos por Sadahira *et al.* (2016) e com modificações.

Para a densidade, porções das espumas obtidas no item 3.4.2.1 foram transferidas cuidadosamente para um pesa-filtro e este foi pesado em seguida em balança analítica (Bioprecisa, FA2104N, Brasil). Para a determinação do volume do pesa-filtro, este foi calibrado

com água destilada a 25 °C. A densidade foi calculada como a relação entre a massa e o volume ocupado pelas espumas e o cálculo foi realizado conforme a Equação 6. As medidas foram feitas em triplicata ($n=3$) e os resultados expressos em g cm^{-3} .

$$\rho = \frac{m_f}{v} \quad (6)$$

Onde: ρ é a densidade da espuma (g cm^{-3}), m_f é a massa das espumas (g) e v é o volume fixo do pesa-filtro (cm^3).

Para a análise da capacidade espumante, o pesa-filtro foi preenchido com a polpa de grumixama a temperatura ambiente (25 °C) e pesado. Para os cálculos (Equação 7), também foram considerados os pesos das espumas determinados nas medidas de densidade descritas anteriormente. As análises foram realizadas em triplicata ($n=3$) e os resultados expressos em porcentagem (%).

$$\text{Capacidade Espumante (\%)} = \frac{100 (m_0 - m_f)}{m_f} \quad (7)$$

Onde: M_0 é a massa inicial da polpa de grumixama (g) e m_f é a massa das espumas (g).

3.4.2.1.2 Estabilidade das espumas

A análise foi realizada de acordo com o método de Chaves *et al.* (2013), onde 20 g da espuma foi transferida para um funil de Buchner de 90 mm de diâmetro e acoplado a uma proveta de 100 mL. O volume de escoamento da espuma para a proveta foi observado por 1 hora, em repouso e a temperatura de 25 °C. A análise foi realizada em triplicata ($n=3$) e o tempo de escoamento foi analisado.

3.4.2.2 Secagem em leito de espuma

Para a secagem em leito de espuma, as amostras foram espalhadas em bandejas de aço inox com espessura controlada de 1 mm. A Figura 12 apresenta o método de espalhamento da espuma de grumixama. O processo de espalhamento foi realizado cuidadosamente de modo a manter as estruturas das espumas e evitar o rompimento das bolhas de ar. Em seguida, as bandejas contendo as espumas espalhadas foram levadas para a estufa com circulação e renovação de ar, com velocidade do ar de $0,6 \text{ ms}^{-1}$ e a $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para a construção da curva cinética de secagem, as bandejas foram retiradas da estufa e pesadas em balança semi-analítica a cada 10 minutos, até obter massa constante. Uma rotação das bandejas no interior da estufa também foi realizada para garantir a equivalência da passagem do ar de secagem. A variação da massa das amostras em função do tempo foi acompanhada.

Os produtos resultantes deste processo foram codificados como PSLE, que caracteriza a polpa seca em leito de espuma e de forma convectiva. Após a secagem os materiais foram colocados em embalagens de PEBD aluminizadas para evitar a degradação pela luz. Foram construídas as curvas de massa (g) em função do tempo (min) e em triplicata ($n=3$).

Figura 12 – Espumas de grumixama espalhadas em bandejas para a posterior secagem em leito de espuma.



Fonte: Autora (2023).

3.4.3 Liofilização

O processo de liofilização da polpa de grumixama foi realizado em liofilizador em escala laboratorial (Terroni* Fauvel, LT 3000, Brasil), onde 100 g de amostra foram espalhadas em bandeja de alumínio e submetidas ao congelamento em *ultrafreezer* (Klimaquip, UK-05, Brasil). O equipamento foi operado por 2 horas e 30 minutos com a temperatura do condensador

a -50 °C e após este período houve um aumento na temperatura da prateleira para 35 °C e esta permaneceu até o final do processo. Foram feitos testes preliminares para determinar o tempo de liofilização, em paralelo com os testes de determinação de umidade. Quando se atingiu a umidade desejada, o processo foi encerrado.

Os produtos resultantes deste processo foram codificados como PLZ, que caracteriza a polpa liofilizada. Após a desidratação, os materiais foram colocados em embalagens de PEBD aluminizadas para evitar a degradação pela luz.

3.4.4 Cinéticas de secagem e taxa de secagem

A partir dos dados experimentais de massa (g) em função do tempo (minutos) obtidos nos processos de secagem convectiva e secagem em leito de espuma e dos valores de umidade inicial das amostras (polpa e espuma), foram obtidas as curvas cinéticas de secagem em umidade em base seca (g de água a g de sólidos secos⁻¹) em função do tempo (minutos).

Para o cálculo de taxa de secagem foi realizado o ajuste linear dos dados iniciais da curva cinética de secagem, de modo a obter-se valores de $R^2 \geq 0,99$. Os valores da taxa de secagem na etapa do período constante foram calculados como a média dos coeficientes angulares obtidos nas equações lineares ajustadas e expressos em g de água a g de sólidos secos⁻¹.min⁻¹.

3.4.5 Ajustes dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page

Além da determinação da taxa constante de secagem, os dados de umidade em base seca em função do tempo obtidos na cinética de secagem convectiva e leito de espuma, foram adimensionalizados para a determinação da Razão de Umidade (RU) e através da Equação 8. As curvas foram obtidas em triplicata ($n=3$).

$$RU = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (8)$$

Onde M_0 é a umidade inicial em base seca, M_e é a umidade de equilíbrio em base seca e M_t corresponde a umidade ao longo do tempo de secagem.

Os modelos semi-teóricos de Lewis, Page e Henderson e Pabis descritos na Tabela 2, foram ajustados aos resultados de razão de umidade (RU) em função do tempo (minutos) utilizando a rotina de ajuste não linear no *software* Origin versão 8 Pro (OriginLab Corporation, Massachussets, EUA).

Tabela 2 - Modelos Matemáticos para ajuste dos dados de secagem.

Modelos	Equações
Lewis	$RU = Exp(-kt)$
Page	$RU = Exp(-kt^n)$
Henderson e Pabis	$RU = a Exp(-kt)$

RU é razão de umidade (adimensional), t é tempo (min ou horas).
 Parâmetros dos modelos: a, n são adimensionais e k é min para Lewis e Henderson e Pabis, k é (min⁻¹)ⁿ para Page.
 Fonte: Panato e Muller (2021).

3.4.6 Difusão de umidade efetivo

Para determinar a difusão de umidade efetivo, foi utilizada a segunda Lei de Fick com solução para placa plana infinita e descrita na Equação 9, considerando que foi assumido para o cálculo que o encolhimento da amostra foi desprezível e esta equação foi utilizada devido ao longo tempo de secagem (IZADI *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2021).

$$RU = \frac{8}{\pi^2} e \left(-\frac{\pi^2 Deff t}{4L^2} \right) \quad (9)$$

Onde RU é a razão de umidade, Deff é a difusividade de umidade efetiva (m²/s), t é o tempo de secagem (segundos) e L é a espessura da espuma (m).

Embora, tomando ln de ambos os lados, pode-se obter uma equação em linha reta (Equação 10).

$$\ln(RU) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) + \left(-\frac{\pi^2 Deff}{4L^2}\right) t \quad (10)$$

Por fim, o $Deff$ pode ser calculado através da inclinação do $\ln(RU)$ em função do tempo (segundos) (Equação 11 e 12).

$$slope = \frac{\pi^2 Deff}{4L^2} \quad (11)$$

$$Deff = \frac{slope 4L^2}{\pi^2} \quad (12)$$

3.4.7 Análise da morfologia dos leitos

Os leitos após os processos de desidratação foram avaliados quanto a sua morfologia e preparados de acordo com o método descrito por Panato e Muller (2021). Para isso, partes íntegras das amostras foram criofraturadas com o auxílio de nitrogênio líquido e após a obtenção das criofraturas, estas foram aderidas em *stubs* com fita de carbono e revestidas com uma fina camada de ouro. As amostras foram analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (JEOL, JSM-6390LV, Japão). As imagens foram visualizadas com uma voltagem de aceleração de 10 Kv, com ampliação de 80 x e na escala de 200 μm . As imagens foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC.

Não foi possível realizar os estudos de obtenção da cinética de desidratação e posteriores comportamentos para a amostra PLZ, devido à falta de dispositivos no equipamento que registram estes dados. Contudo, o material proveniente deste método (PLZ) também foi analisado quanto à sua morfologia.

3.5 OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS EM PÓ

Após os processos de desidratação, as amostras PSC, PSLE e PLZ foram moídas em moinho doméstico (PMC01, Philco, China) e peneiradas a 35 *mesh*, com a finalidade de uniformizar os tamanhos das partículas (0,5 mm).

3.5.1 Densidade aparente

A análise de densidade aparente foi realizada de acordo com o método adaptado de Chegini; Ghobadian (2005), onde 5 g dos pós foram cuidadosamente colocados em uma proveta

de 10 mL (através de um funil) de forma a não promover a compactação do leite e o volume ocupado foi determinado. As medidas foram realizadas em triplicata ($n=3$) e a densidade aparente foi calculada como a relação massa/volume, de acordo com a Equação 13 (TZE *et al.*, 2012). Os resultados foram expressos em g cm^{-3} .

$$\rho \text{ aparente} = \frac{\text{massa dos pós de grumixama (g)}}{\text{Volume dos pós de grumixama (mL)}} \quad (13)$$

3.5.2 Densidade compactada

A análise de densidade compactada foi realizada de acordo com o método de Chegini; Ghobadian (2005). Para isso, utilizaram-se as amostras da análise de densidade aparente (3.5.1) que foram soltas por 10 vezes, de uma altura de 15 cm e em cima de uma superfície emborrachada, de forma a promover uma compactação padronizada para todas as amostras. Após este processo, verificou-se novamente o volume ocupado pela amostra após a compactação. As medidas foram realizadas em triplicata ($n=3$), calculadas conforme a relação massa/volume compactado, de acordo com a Equação 14 (TZE *et al.*, 2012) e os resultados foram expressos em g cm^{-3} .

$$\rho \text{ compactada} = \frac{\text{massa dos pós de grumixama (g)}}{\text{Volume dos pós de grumixama compactados (mL)}} \quad (14)$$

3.5.3 Fluidez dos pós

Pode-se definir fluidez como a capacidade das partículas de se moverem em relação as outras partículas, bem como, o escoamento destas pelas paredes do local de armazenamento (KALMAN, 2021). Foram utilizados dois métodos de cálculo para a fluidez dos pós: Índice de Carr e Razão de Hausner conforme descrito a seguir. Os valores dos parâmetros obtidos foram comparados com a tabela de classificação de fluidez (Tabela 3).

A partir dos resultados de densidade aparente e compactada obtidos nos itens 3.5.1 e 3.5.2, respectivamente, foi possível determinar a Razão de Hausner (Equação 15) e o Índice de Carr (Equação 16), que avaliam a compressibilidade e o fluxo dos pós, respectivamente (TZE *et al.*, 2012). As análises foram realizadas em triplicata ($n=3$).

$$\text{Razão de Hausner (RH)} = \frac{\rho \text{ compactada}}{\rho \text{ aparente}} \quad (15)$$

$$\text{Índice de Carr (IC) \%} = \frac{(\rho \text{ compactada} - \rho \text{ aparente})}{\rho \text{ compactada}} \times 100 \quad (16)$$

Tabela 3 - Índice de Carr e Razão de Hausner para a classificação da fluidez dos pós.

Fluidez	Índice de Carr (%)	Razão de Hausner
Excelente	0-10	1,0-1,11
Bom	11-15	1,12-1,18
Razoável	16-20	1,19-1,25
Aceitável	21-25	1,26-1,34
Ruim	26-31	1,35-1,45
Muito ruim	32-37	1,46-1,59
Extremamente ruim	>38	>1,60

Fonte: Asokapandian *et al.* (2016).

3.5.4 Determinação da Capacidade de Retenção de Água e Capacidade de Retenção de Óleo

As análises foram realizadas pelo método modificado de Stone *et al.* (2015), onde em um tubo de centrifuga de 50 mL, foi pesado 1,0 g dos pós e adicionado 10 g de água ou óleo de girassol ($\rho=0,83 \text{ g cm}^{-3}$) a 25 °C para a determinação da Capacidade de Retenção de Água (CRA) e Capacidade de Retenção de Óleo (CRO), respectivamente. Os tubos foram agitados por 10 segundos em *vórtex* (Tecnal, AP56-Phoenix Luterco, Brasil) e centrifugados a 2000 g por 30 minutos (25 °C) (Hermle, Z200A, Alemanha). Após a centrifugação, o sobrenadante foi cuidadosamente retirado e pesado, o mesmo ocorreu com o decantado retido no tubo. Os cálculos foram realizados conforme a Equação 17, em triplicata ($n=3$) e os resultados foram expressos em g de água ou óleo por g de sólidos secos⁻¹.

$$\text{CRA ou CRO} = \frac{M_d - M_a}{M_a} \quad (17)$$

Onde M_d é a massa do decantado resultante da centrifugação (g) e M_a é a massa da amostra em base seca (g de água/óleo por g de sólidos secos⁻¹).

3.5.5 Índice de Solubilidade em Água

Para a análise, foi utilizado o método modificado de Jafari, Ghalei e Dehnad (2017), onde 5 g do sobrenadante utilizado na CRA (item 3.5.4) foi colocado em um cadinho de alumínio previamente preparado e pesado, após foi levado para a secagem em estufa a 80 °C até massa constante. O cálculo foi realizado de acordo com a Equação 18, em triplicata ($n=3$) e os resultados expressos em porcentagem (%).

$$ISA (\%) = \frac{M_s}{M_a} \times 100 \quad (18)$$

Onde M_s é a massa do sobrenadante em base seca (g água por g de sólidos secos⁻¹) e M_a é a massa da amostra em base seca (g água por g de sólidos secos⁻¹).

3.5.6 Isoterma de adsorção de umidade a 25 °C

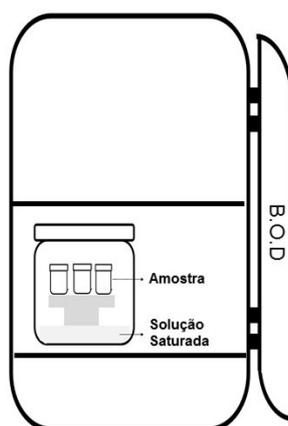
As análises de isoterma de adsorção de umidade foram realizadas pelo método gravimétrico-estático e descrito por Barbosa-Cánovas *et al.* (2007), com modificações. Para isso as amostras foram acondicionadas em potes herméticos contendo soluções saturadas de cloreto de lítio, cloreto de magnésio, carbonato de potássio, brometo de sódio, cloreto de sódio, cloreto de potássio e cloreto de bário, que foram anteriormente dissolvidas em água destilada, conforme especificações, para atingirem os ambientes com determinadas umidades relativas ($RU = A_w \times 100$) (Tabela 4). Os potes herméticos foram mantidos em câmara B.O.D (Tecnal, TE/371, Brasil) a temperatura de 25 °C (Figura 13).

Tabela 4 - Sais que compõem as soluções saturadas e as correspondentes umidade relativas a 25°C.

SAIS	Umidade Relativa
Cloreto de Lítio (LiCl)	11%
Cloreto de Magnésio (MgCl ₂)	33%
Carbonato de Potássio (KCO ₃)	43%
Brometo de Sódio (NaBr)	58%
Cloreto de Sódio (NaCl)	75%
Cloreto de Potássio (KCl)	80%
Cloreto de Bário (BaCl ₂)	90%

Fonte: Júnior (2007).

Figura 13 - Armazenamento e acondicionamento das amostras - Análise de isotermas.



Fonte: Autora (2023).

Para o procedimento, as amostras em pó provenientes da secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização foram deixadas em dessecador contendo sílica durante 7 dias. Após este período, 0,5 g das amostras foram pesadas em cadinhos de porcelana previamente preparados. Posteriormente, estes foram acondicionados nos sistemas herméticos contendo as soluções saturadas e levados para B.O.D a 25 °C. Os cadinhos foram pesados durante o período de 7 dias e até obter massa constante que foi considerada a condição de equilíbrio. A umidade e o peso das amostras foram determinados no início dos experimentos e após a chegada na condição de equilíbrio.

A partir dos dados obtidos foi calculada a umidade de equilíbrio das amostras em base seca (g de água por g de sólidos secos⁻¹) e na etapa seguinte, foi possível gerar as isotermas de

adsorção de umidade representadas pela umidade de equilíbrio em função da atividade água (A_w). As análises foram realizadas em triplicata ($n=3$).

Os modelos de BET e GAB foram ajustados aos dados experimentais (Equações 19 e 20, respectivamente) (JÚNIOR, 2007) e utilizando a rotina de ajuste não linear no *software* Origin versão 8 Pro (OriginLab Corporation, Massachussets, EUA).

$$\frac{A_w}{(1-A_w)^m} = \frac{1}{m_0 C} + \left(\frac{C-1}{m_0 C}\right) A_w \text{ (BET)} \quad (19)$$

Onde m é a umidade de equilíbrio (g de água a g sólidos secos⁻¹), A_w é a atividade de água, m_0 é o valor da monocamada nas mesmas unidades e C é a constante.

$$X_{eq} = \frac{m_0 K_b C A_w}{[(1-K_b A_w)(1-K_b A_w + C K_b A_w)]} \text{ (GAB)} \quad (20)$$

Onde X_{eq} é a umidade de equilíbrio (g de água a g sólidos secos⁻¹), m_0 é o valor da monocamada nas mesmas unidades, A_w é a atividade de água, K_b é uma constante na faixa de 0,70 a 1,0 e C é uma constante na faixa de 1 a 20.

3.5.7 Análise de cor e diferença total de cor

Para a análise de cor dos pós, foi utilizado o procedimento descrito no item 3.3.2, porém as amostras em pós foram acondicionadas em Placas de Petri e realizou-se as leituras em diferentes pontos da placa. Além disso, foi analisada a diferença total de cor das amostras quando comparadas com a polpa *in natura* (ΔE) (Equação 21) (OZCELIK *et al.*, 2020).

As diferenças de valores de cor podem ser classificadas em: de $\Delta E > 3$ (muito diferente), $1,5 < \Delta E < 3$ (diferente) e $\Delta E < 1,5$ (pequenas diferenças) (ADEKUNTE *et al.*, 2010). As análises foram realizadas em triplicata ($n=3$).

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_{*0} - L^*)^2 + (a^*_{*0} - a^*)^2 + (b^*_{*0} - b^*)^2} \quad (21)$$

Onde L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 são os parâmetros iniciais de cor da polpa de grumixama *in natura* para a comparação com os pós obtidos da secagem da polpa, secagem em leite de espuma e liofilização. O L^* , a^* e b^* são os parâmetros de cor dos pós.

3.5.8 Análises de antocianinas monoméricas totais, capacidade antioxidante *in vitro* e determinação de minerais majoritários

Os pós desidratados foram caracterizados em termos de antocianinas monoméricas totais, capacidade antioxidante *in vitro* e determinação de minerais majoritários, conforme metodologias descritas nos itens: i) 3.3.3, ii) 3.3.4 e iii) 3.3.5, respectivamente. Os cálculos foram realizados em base seca e expressos em sólidos secos e por isso, quando se utiliza 5 g de polpa de grumixama *in natura* utiliza-se 0,5225 g, 0,5055 g e 0,5340 g das amostras PSC, PSLE e PLZ, respectivamente. Já quando se utiliza 2 g de polpa *in natura*, utiliza-se 0,209 g, 0,2022 g e 0,2136 g das amostras PSC, PSLE e PLZ, respectivamente.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A partir dos dados obtidos das replicatas das análises foram calculados as médias e os desvios-padrão. Quando necessário, os dados foram analisados estatisticamente e submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste de *Tukey* a 5 % de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FRUTOS E DA POLPA DE GRUMIXAMA *IN NATURA*

A Tabela 5 apresenta a massa dos frutos de grumixama *in natura*, o rendimento dos frutos em termos das frações de coroas, sementes, polpa (cascas/polpas) e as características físico-químicas da polpa *in natura*.

Tabela 5 - Massa dos frutos, rendimento das frações dos frutos (coroas, sementes e polpa) e caracterização físico-química da polpa de grumixama *in natura* (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) em termos de umidade, sólidos solúveis, pH e acidez total titulável.

	Parâmetros	Resultados
Rendimento (%)	Peso dos frutos (g)	2,65 ± 0,73
	Coroas	4,50 ± 0,09
	Sementes	23,90 ± 0,48
	Polpa	71,60 ± 0,40
	Umidade em <i>b.u</i> (g 100 g ⁻¹)	90,14 ± 0,10
	Sólidos solúveis (°Brix)	6,47 ± 0,38
	pH	3,55 ± 0,09
	Acidez total titulável (g de ácido cítrico 100 g de amostra ⁻¹)	1,00 ± 0,03

Fonte: Autora (2023).

O peso médio dos frutos inteiros encontrados neste estudo foi similar aos reportados para frutos de grumixama analisados por Donadio (1997) e Nehring *et al.* (2022) (2,29 a 3,96 g) e menores aos reportados por Nascimento *et al.* (2017) (4,5 g).

Para a determinação do rendimento foi realizada a separação dos frutos nas frações apresentadas na Tabela 5. As coroas foram removidas das polpas em função destas apresentarem coloração esverdeada, diferente das polpas, que se caracterizam por coloração variando de roxo a preto, logo, apresentam composição, no que se refere aos pigmentos, diferentes. Quando comparado o rendimento das frações de polpa e semente de grumixama com

a literatura, observa-se que Donadio (1997) e Nascimento *et al.* (2017) reportaram valores maiores para a fração de polpa (81 e 88 %, respectivamente) e conseqüentemente menores valores para as frações de sementes (19 e 12 %, respectivamente).

O teor de umidade obtidos neste estudo foram próximos aos relatados para frutos de grumixama analisados por Ramos *et al.* (2020), Silva *et al.* (2014) e Zola *et al.* (2019) que foram na faixa de 90,8 a 91,66 g 100 g⁻¹, além disso, também foram similares aos encontrados por Nehring *et al.* (2022) que avaliaram os frutos de grumixama em três estágios de maturação e obtiveram valores de umidade de 86,18 a 89,94 g 100 g⁻¹. Já Xu *et al.* (2020) encontraram valores menores de umidade (82,96 g 100 g⁻¹) e Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016) obtiveram valores maiores de umidade (95,29 g 100 g⁻¹).

Para os sólidos solúveis totais, os valores obtidos neste estudo foram próximos aos encontrados por Ramos *et al.* (2020) (6,03 °Brix), maiores aos encontrados por Xu *et al.* (2020), Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016) e Zola *et al.* (2019) (2,85 a 5 °Brix) e menores aos encontrados por Donadio (1997), Nascimento *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2016) (9,4 a 13,07 °Brix). A determinação do pH foi próxima ao relatado por Xu *et al.* (2020), que foi de 3,39 e menor aos encontrados por Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016) e Silva *et al.* (2016) (4,34 e 4,2, respectivamente).

Nehring (2016) avaliou o perfil de ácidos orgânicos de frutos de grumixama colhidos em diferentes graus de maturação e de duas regiões distintas e observaram que para os frutos maduros, o ácido cítrico se apresentou como majoritário nos frutos colhidos na cidade de Florianópolis, enquanto que o ácido málico foi majoritário para os frutos colhidos em São Ludgero. Como os frutos deste estudo foram colhidos na cidade de Florianópolis, os resultados foram expressos em ácido cítrico e com isso, estes resultados corroboram com as observações de Nascimento *et al.* (2019) e Xu *et al.* (2020) (0,92 e 1,16 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de amostra, respectivamente) e foram maiores que os encontrados por Aguiar, Sabaa-Srur e Smith (2016) de 0,29 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ de amostra.

O número de publicações sobre a composição físico-química dos frutos de grumixama ainda é limitado e uma grande variação de locais de colheita foram encontrados. No que se refere aos trabalhos encontrados na literatura, as colheitas dos frutos ocorreram em diferentes cidades dos estados brasileiros de Minas Gerais (ZOLA *et al.*, 2019), Goiás (XU *et al.*, 2020), Rio de Janeiro (AGUIAR, SABAA-SRUR E SMITH, 2016; NASCIMENTO *et al.*, 2019), São Paulo (DONADIO, 1997; RAMOS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2016; TEIXEIRA *et al.*, 2015) e

Santa Catarina (NEHRING *et al.*, 2022; TEIXEIRA *et al.*, 2015) e os anos de colheita dos frutos variaram de 2011 a 2018. De acordo com Xu *et al.* (2020), os fatores ambientais e o grau de maturação influenciam nas características físico-químicas dos frutos e por conta disso, pode-se observar uma grande variação em relação a estes parâmetros e isto foi evidenciado neste trabalho.

4.2 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO

4.2.1 Parâmetros de avaliação das espumas produzidas

As espumas são sistemas bifásicos constituídos por uma fase líquida contínua e uma fase gasosa dispersa no meio líquido (KOÇ *et al.*, 2022). A solução líquida adicionada na formulação da espuma pode formar um gel ou solidificar após o contato com o gás (QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2020).

Para a realização do método de secagem em leito de espuma, é necessária a produção de uma espuma estável e os parâmetros como densidade, capacidade espumante e estabilidade são medidas importantes para a avaliação das características das espumas a serem formadas (KOÇ *et al.*, 2022). Neste sentido, na Tabela 6 são apresentados os resultados destes parâmetros para a polpa de grumixama *in natura* e para a espuma formada a partir da adição de 38,61 % (m/m) de polpa de grumixama *in natura*, 60,23 % (m/m) da solução de isolado proteico de soja a 4 % (m/v) e 1,16 % (m/m) de alginato de sódio.

Tabela 6 - Densidade da polpa de grumixama *in natura* e parâmetros de densidade, capacidade espumante e estabilidade da espuma de grumixama.

Amostra	Densidade (g cm ⁻³)	Capacidade Espumante (%)	Estabilidade (hora)
Polpa de grumixama <i>in natura</i>	1,007 ± 0,007	-	-
Espuma de grumixama	0,63 ± 0,008	58,0 ± 2,72	≥1

Fonte: Autora (2023).

A densidade de uma espuma é determinada pela razão de sua massa e o volume. Esta medida permite avaliar a efetividade do batimento e uma vez que o gás é incorporado à fase líquida, ocorre o aumento do volume da espuma com consequente redução da densidade (SANGAMITHRA *et al.*, 2015). Este efeito pode ser claramente observado quando se comparam os resultados da densidade da espuma com a polpa *in natura*. A adição da solução do isolado proteico de soja e do alginato de sódio, associado ao tempo de batimento, resultaram em uma redução superior a 37 % da densidade da espuma de grumixama quando comparada com a polpa *in natura*.

A capacidade espumante é um indicativo da quantidade de ar aprisionada no processo de formação da espuma e esta é expressa em porcentagem de expansão (AFFANDI *et al.*, 2017). Além disso, a densidade apresenta um comportamento inverso à expansão da espuma, ou seja, quanto menor a densidade, maior será a expansão da espuma (KHAMJAE; ROJANAKORN, 2018). A porcentagem de expansão da espuma de grumixama foi superior a 50 % e observou-se uma redução de aproximadamente 40 % da densidade da espuma.

No processo de secagem em leito de espuma, além do acompanhamento da densidade e da capacidade espumante como formas de avaliar a incorporação de ar na polpa, também se faz necessário garantir que a espuma formada seja estável, para que haja uma resistência da estrutura da espuma ao longo do processo de secagem. Uma forma de avaliar este parâmetro é através da medição da drenagem, que consiste em determinar o fluxo de líquido que escoar da espuma, devido as forças capilares ou forças externas, como a gravidade (IZADI *et al.*, 2020). O método é realizado pela medição da altura de escoamento da espuma em um determinado período de tempo (MOUNIR, 2018). Neste estudo, aplicando esta metodologia, observou-se que a espuma de grumixama permaneceu estável, sem drenagem de líquido, por um período de tempo superior a 1 hora.

De acordo com a literatura, para a formação de espumas de qualidade e que permitam a sua utilização na metodologia de secagem em leito de espuma, estas devem apresentar valores de densidade entre 0,3 e 0,6 g cm⁻³ e devem ser estáveis por mais de 1 hora (AFFANDI *et al.*, 2017; SANGAMITHRA *et al.*, 2018). A partir destas referências, é possível afirmar que a adição de isolado proteico de soja e alginato de sódio à polpa de grumixama permitiu a formação de uma espuma de densidade e estabilidade apropriadas podendo ser considerada de qualidade.

Comparando-se com outros estudos que elaboraram espumas a partir de polpas de frutas ou sucos observamos comportamentos e parâmetros semelhantes. Espumas de melão produzidas com isolado proteico de soja e carboximetilcelulose (CMC), apresentaram densidade de 0,502 a 0,709 g cm⁻³, capacidade espumante de 35,29 a 55,65 % e houve uma drenagem de 0 a 24 mL em um tempo de 1 hora. Estes resultados levaram a otimização dos parâmetros para a adição de 8,95 % de isolado proteico de soja (m/m), 0,53 % de CMC (m/m) e tempo de batimento de 5,0 minutos (ASOKAPANDIAN *et al.*, 2016). Para as espumas elaboradas a partir da polpa de pêssigo com incorporação de isolado proteico de soja ou isolado proteico de ervilha nas concentrações de 0,5; 1 e 1,5 % (m/m) e CMC (0,53% m/m), Brar *et al.* (2020) reportaram valores de densidade entre 0,6 a 0,7 g cm⁻³. A adição de proteína de soja nas concentrações de 0,5; 1 e 1,5 % (m/m) e CMC (0,50% m/m) visando à formação de espumas de manga, Rajkumar *et al.* (2007) encontraram valores de densidade de 0,54 a 0,65 g cm⁻³, porcentagem de capacidade espumante de 58,6 a 94,6 % e estabilidades superiores a 90 % após os tempos de 90 e 180 minutos.

A adição de proteínas permite a formação das espumas fazendo com que estas se liguem à interface da camada lamelar através de forças eletrostáticas ou hidrofóbicas, pontes de hidrogênio ou ligações covalentes. Essas interações são importantes pois formam filmes com maiores espessuras ou com maiores viscoelasticidades, que são capazes de suportar as tensões superficiais e evitarem o colapso das bolhas de ar mantendo as espumas estáveis por mais tempo (HARDY; JIDEANI, 2017).

As proteínas de origem animal como as derivadas de ovos e leite são as mais utilizadas para a formação de espumas alimentares (AMAGLIANI *et al.*, 2021). Em contrapartida, utiliza-se com frequência a técnica de secagem em leito de espuma para a obtenção de frutas e vegetais em pós, mas pouco se utiliza das proteínas de origem vegetal para a obtenção das espumas, sendo assim, os produtos deixam de possuir a denominação de *plant based* (à base de plantas), o que pode ser uma restrição de uso. Segundo Day, Cakebread e Loveday (2022), os consumidores estão aumentando suas preferências por produtos de origem vegetal devido as questões de sustentabilidade, saúde ou ética, nesse sentido, as empresas da área de alimentos estão inovando e buscando novas alternativas para o desenvolvimento de produtos que não contenham proteínas de origem animal nas formulações.

Neste contexto, as proteínas de soja são amplamente utilizadas nas formulações de produtos alimentícios devido as suas propriedades funcionais, capacidade de estabelecer

ligações com água e óleo, emulsificação, formação de espuma e gelificação. Além disso, a soja apresenta grande produtividade, baixo preço, não apresenta toxicidade e possui alto valor nutricional (DAY; CAKEBREAD; LOVEDAY, 2022; HE *et al.*, 2021). Dentre os produtos proteicos de soja, se destaca o isolado proteico de soja que é obtido da farinha de soja desengordurada e o processo ocorre em baixas temperaturas, através da extração com soluções alcalinas, seguida da precipitação ácida para a remoção de impurezas de carboidratos. Estes processos fazem com que o isolado proteico de soja contenha mais de 90 % de proteínas (m/m) e estes são constituídos majoritariamente pelas proteínas β -conglucina (7S) e glicina (11S) (DAY; CAKEBREAD; LOVEDAY, 2022; LI *et al.*, 2019; NISHINARI *et al.*, 2014). Logo, esse elevado conteúdo de proteínas permitiu que a espuma fosse produzida com o objetivo de incorporar posteriormente o alginato de sódio e a polpa de grumixama *in natura* na formulação e a partir desta proteína, foi possível obter espumas de baixa densidade e elevada capacidade espumante.

O alginato é extraído de algas marinhas de colorações marrons e representa um polissacarídeo aniônico, linear e solúvel em água, a sua estrutura química é composta por ácido β -D-manurônico e ácido α -L-gulurônico que são ligados por ligações glicosídicas 1-4 (FU *et al.*, 2011). Comercialmente os alginato são encontrados nas formas de sais de sódio, potássio e amônio (CHING; BANSAL; BHANDARI, 2017). O alginato de sódio é amplamente utilizado na indústria de alimentos devido às suas características como agente gelificante, estabilizante, solubilizante e emulsificante (CAO *et al.*, 2022). Com isso, as características estabilizantes do alginato de sódio permitiram que este fosse capaz de estabilizar a espuma produzida através do isolado proteico de soja e pelo tempo necessário para a realização da metodologia em leito de espuma. Além disso, a sua propriedade emulsificante também pode ter contribuído para a formação da espuma.

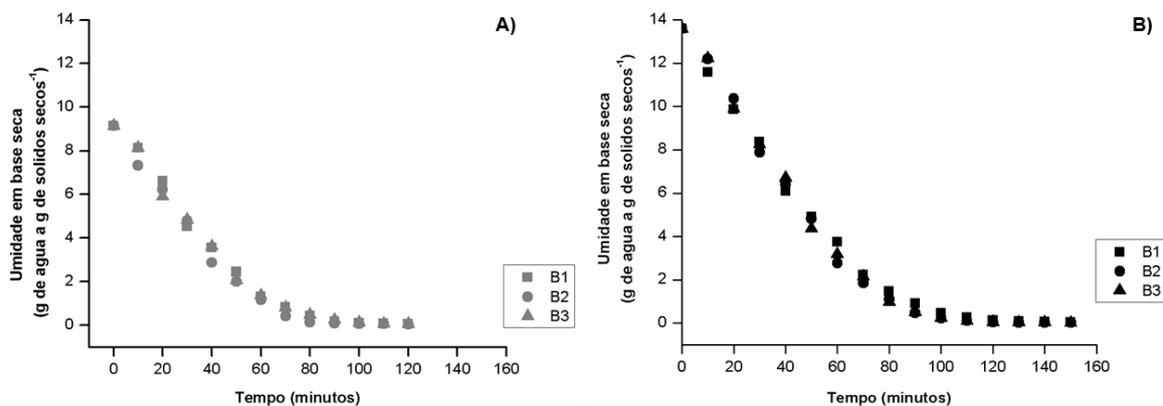
4.2.2 Avaliação das curvas cinéticas de secagem e determinação das taxas de secagem

No início do processo de secagem a água é removida com maior facilidade e de forma linear, sendo que essa etapa é denominada como período de taxa constante de secagem, onde a água livre é removida e o sistema se comporta como se não houvesse a presença do material sólido. Esta etapa prossegue enquanto a superfície do material permanecer úmida e não houver resistência à passagem da água da matriz para o ar de secagem, após esse período, o material

atinge as condições de umidade crítica (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017). A umidade crítica delimita o fim do período de taxa constante e o início do período de taxa decrescente de secagem. No período de taxa decrescente, a água continua sendo removida, porém o processo ocorre de forma mais lenta devido que a água deve percorrer a matriz do interior do alimento até a superfície. Logo a água é transportada através do sólido, chega a superfície e é removida pela corrente de ar que apresenta menor pressão de vapor, gerando o gradiente que estabelece o fluxo de massa (GEANKOPLIS, 1998). O processo de secagem pode ser interrompido quando a temperatura da superfície do material se apresenta em condições de bulbo seco e a massa permanece constante (ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017).

A curva cinética de secagem pode ser gerada pela umidade em base seca (g de água a g de sólidos secos⁻¹) em função do tempo (minutos). Na Figura 14 são apresentadas as curvas cinéticas de secagem da polpa de grumixama *in natura* (PSC) (A) e secagem em leite de espuma da polpa de grumixama (PSLE) (B).

Figura 14 - Replicatas das curvas cinéticas de secagem – Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leite de espuma (PSLE) (B).



Onde B1, B2 e B3: replicatas dos dados experimentais.

Fonte: Autora (2023).

Observa-se que ambas as amostras, apresentaram um decaimento progressivo da umidade representado pelo período de taxa constante, até atingirem valores assintóticos caracterizado pelo fim do período de taxa decrescente. Além disso, as amostras apresentaram um comportamento típico de materiais porosos e higroscópicos. Portanto, o comportamento das curvas cinéticas de secagem PSC e PSLE corroboram com o que se espera que ocorra em um processo de secagem destes sistemas com elevada umidade inicial.

O tempo de secagem da amostra PSC foi de 120 minutos, enquanto que para a amostra PSLE o tempo foi de 150 minutos. Inicialmente, a umidade da amostra PSC era de $90,14 \pm 0,10$ % e atingiu a umidade final de $5,66 \pm 0,69$ % ($0,060 \pm 0,008$ g de água a g de sólidos secos⁻¹). Já para a amostra PSLE a umidade reduziu de $93,15 \pm 0,23$ % para $2,48 \pm 0,71$ % ($0,025 \pm 0,007$ g de água a g de sólidos secos⁻¹). Com isso, as amostras tiveram remoções de água de 93 e 97 %, respectivamente.

Panato e Muller (2021) secaram purê de abóbora por secagem convectiva e leito de espuma com espessura de 1 mm e utilizando temperaturas de 45 e 65 °C e obtiveram para secagem convectiva nas duas temperaturas os tempos de secagem e umidade final de 180 e 90 minutos e 0,05 e 0,03 g água g sólidos secos⁻¹, respectivamente, já para a amostra em leito de espuma, os tempos foram de 120 e 60 minutos e a umidade final de 0,03 e 0,04 g água g sólidos secos⁻¹, respectivamente.

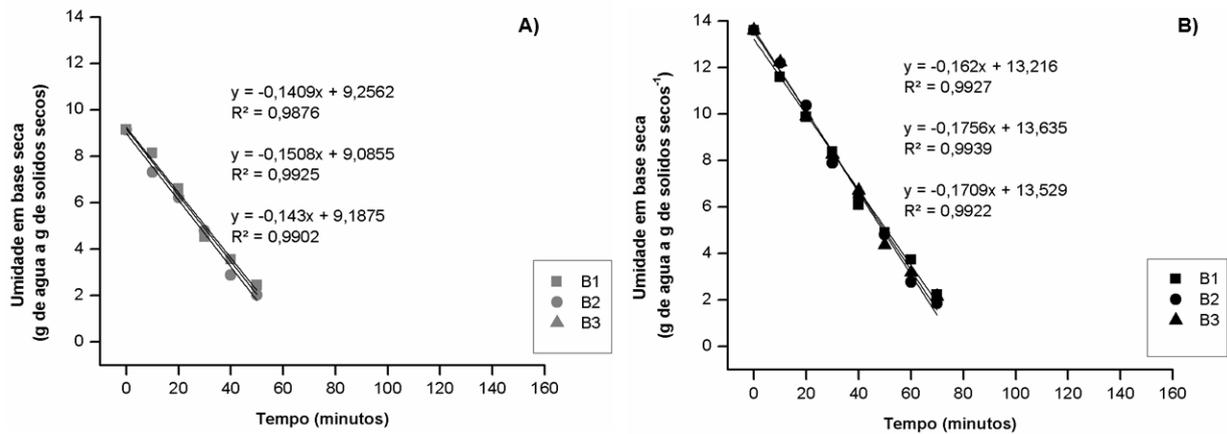
Para a secagem convectiva de produtos de frutas, vários autores reportam as seguintes condições e resultados. As polpas de *goldenberry* e de café foram espalhadas em bandejas com espessuras de 4 mm e 1 cm, respectivamente e foram secas a 70 °C. Os tempos de secagem foram de 420 e 465 minutos e a umidade final das amostras foram de $6,94 \pm 0,16$ % e $6,43 \pm 1,71$ %, respectivamente (PUENTE *et al.*, 2020; TRAN *et al.*, 2020). Já a polpa de araticum adicionada de 20 % de inulina (m/m) foi espalhada em bandeja de 2 mm e foi seca a 70 °C, tendo como tempo de secagem 420 minutos e umidade final de 6,33 % (BOTREL *et al.*, 2016).

Já para os produtos obtidos por secagem em leito de espuma, os autores analisaram as condições descritas a seguir. Khamjae e Rojanakorn (2018), avaliaram o processo de secagem em leito de espuma de maracujá. Para a formação da espuma de maracujá, os autores adicionaram diferentes concentrações de metilcelulose (0,75 a 3,0 % m/m) e espalharam a espuma em bandejas com espessuras de 1 mm e realizaram a secagem a 60, 70 e 80 °C e relataram os tempos de secagem de 130, 90 e 40 minutos, respectivamente para o sistema atingir 10 % de umidade em base seca. Auisakchaiyoung e Rojanakorn (2015), utilizaram para a formação da espuma de polpa de Gac a metilcelulose (1 a 2 % m/m), realizaram o espalhamento em bandejas com espessuras de 1, 2 e 3 mm e secaram a 70 °C. Os autores reportaram que para os sistemas atingirem os teores de umidade de 6,5 % em base seca, os tempos de secagem de 60, 80 e 100 minutos, respectivamente. Já para a secagem em leito de espuma de jambolão, a espuma da fruta foi obtida a partir da mistura de 10 % Emustab[®], 2,5 % de Super liga neutra[®] e 20 % de maltodextrina (m/m) e o espalhamento foi realizada em bandeja com espessura de 5

mm e a secagem a 70 °C. Os autores reportaram o tempo de secagem de 333 minutos e umidade final de $2,82 \pm 0,54 \%$ (TAVARES *et al.*, 2017).

A Figura 15 apresenta as taxas de secagem e umidade crítica para as amostras obtidas por secagem da polpa de grumixama *in natura* (PSC) (A) e do leite de espuma de polpa de grumixama (PSLE) (B). As taxas de secagem no período constante foram obtidas através da determinação do coeficiente angular das equações lineares ajustadas e também através deste ajuste linear foi possível determinar a umidade crítica das amostras.

Figura 15 - Taxas de secagem calculadas a partir do ajuste linear das replicatas de cada processo. Obtenção das equações da reta e do coeficiente de determinação (R^2). Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leite de espuma (PSLE) (B).



Onde B1, B2 e B3: replicatas dos dados experimentais.

Fonte: Autora (2023).

Os valores médios da umidade crítica das amostras PSC e PSLE foram de $2,17 \pm 0,24$ e $2,07 \pm 0,20$ g de água a g de sólidos secos⁻¹, respectivamente e comparando estes resultados, observa-se que as amostras não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). No entanto, houve diferença no tempo para atingirem tais condições, sendo de 50 e 70 minutos de secagem para as amostras PSC e PSLE, respectivamente.

Quando a amostra PSC atingiu a umidade crítica em 50 minutos, o teor médio de umidade removido foi de 24,16 %, já para a amostra PSLE a média de remoção de umidade foi 27,68 % em 70 minutos. Já em relação à taxa de secagem, foram obtidos os valores médios de $0,145 \pm 0,005$ e $0,170 \pm 0,007$ g de água a g de sólidos secos.min⁻¹ para as amostras PSC e PSLE, respectivamente. Os valores médios da taxa de secagem apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), sendo que para a amostra PSLE foi observada a maior taxa de secagem.

Um fator que justifica o maior valor médio de taxa de secagem no período de taxa constante encontrado para a amostra PSLE é a quantidade de água livre presente na amostra e disponível para a remoção, isto ocorreu pois quando foi realizada a formação da espuma, adicionou-se o isolado proteico em forma de solução. Em uma solução, a maior parte da água não se encontra ligada a outros componentes do sistema, logo, essa adição resultou em um maior teor de umidade inicial na amostra e conseqüentemente, gerou uma maior taxa de secagem, devido a maior facilidade de remoção da água quando ela está na forma livre.

Osama *et al.* (2022), analisaram os efeitos das adições de água e clara de ovo *in natura* para a formação do leite de espuma de polpa de kadam e reportaram que as adições foram necessárias para a obtenção de uma espuma com uma maior incorporação de ar, mas que como consequência, também aumentaram o teor de umidade inicial da amostra.

Para a obtenção da amostra PSLE, inicialmente foram testadas as adições simultâneas da solução de isolado proteico de soja, polpa de grumixama *in natura* e o alginato de sódio e então foi realizado o batimento por 6 minutos. O experimento conduzido desta maneira não resultou na formação de espuma, uma vez que, o sistema coalescia e possuía baixa resistência mecânica para a formação da interface ar-água da espuma. Contudo, percebeu-se que somente o batimento da solução de isolado proteico de soja e pelo tempo de 6 minutos, resultava em uma espuma com alta capacidade espumante, porém com pouca estabilidade, por isso, após esse tempo, foi adicionada a mistura de polpa de grumixama *in natura* e alginato de sódio, sendo que este último, atuou de forma majoritária para garantir a estabilidade da espuma. Somente desta forma que foi possível obter uma espuma com alta capacidade espumante e estruturada.

As quantidades dos agentes espumantes e estabilizantes de espuma foram testadas até que se chegasse nas condições da espuma desejada e isto só foi alcançado com uma elevada quantidade desses dois agentes. Logo, considerando a utilização dos agentes em proporção de massa, foram adicionados 12 g de isolado proteico de soja e 6 g de alginato de sódio, que totalizaram em uma proporção de 45 % da formulação, enquanto que a polpa de grumixama *in natura* foi adicionada na proporção de 55 % (20 g considerando 90,14 % de umidade da polpa). Portanto, embora as condições de formação da espuma tenham sido satisfatórias, a alta concentração de sólidos adicionados em decorrência da utilização do isolado proteico de soja e do alginato de sódio, dificultou o processo, ocasionando em maiores tempos de secagem para a amostra PSLE.

De acordo com a literatura apresentada no item 2.3.2 sobre a secagem de uma amostra em leito de espuma, o tempo de secagem deve ser menor quando comparado com a secagem convencional, porém neste trabalho, a amostra PSC apresentou um menor tempo de secagem. Em contrapartida, a amostra PSLE apresentou um menor teor de umidade final, em comparação com a amostra PSC, evidenciando a maior porosidade ocasionada pela incorporação de ar para a obtenção da espuma, o que pode ter favorecido os mecanismos difusionais de remoção de água.

A legislação brasileira estabelece que frutas secas ou desidratadas contenham no máximo 25 % de umidade (BRASIL, 2022). O mesmo parâmetro pode ser observado na classificação da *Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization* (FAO/WHO, 2022) para frutas e vegetais secos ou desidratados que são ditos como alimentos com baixa umidade. De acordo com Jay (2005), alimentos desidratados que contenham até 25 % de umidade e atividade de água entre 0,0 e 0,60, podem apresentar uma vida útil maior e menor risco de contaminação microbiológica.

Considerando as legislações nacionais e internacionais que estabelecem os mesmos critérios para frutas secas ou desidratadas, os tempos de secagem para atingir a umidade desejada (25 %) seriam de 80 e 100 minutos para as amostras PSC e PSLE, respectivamente. Considerando que o período posterior a umidade crítica se refere ao período de taxa decrescente, após a umidade crítica ser atingida em 50 minutos (PSC) e 70 minutos (PSLE), ambas as amostras ainda permaneceriam por mais 30 minutos no período de taxa decrescente e após este tempo, os processos de secagem poderiam ser interrompidos.

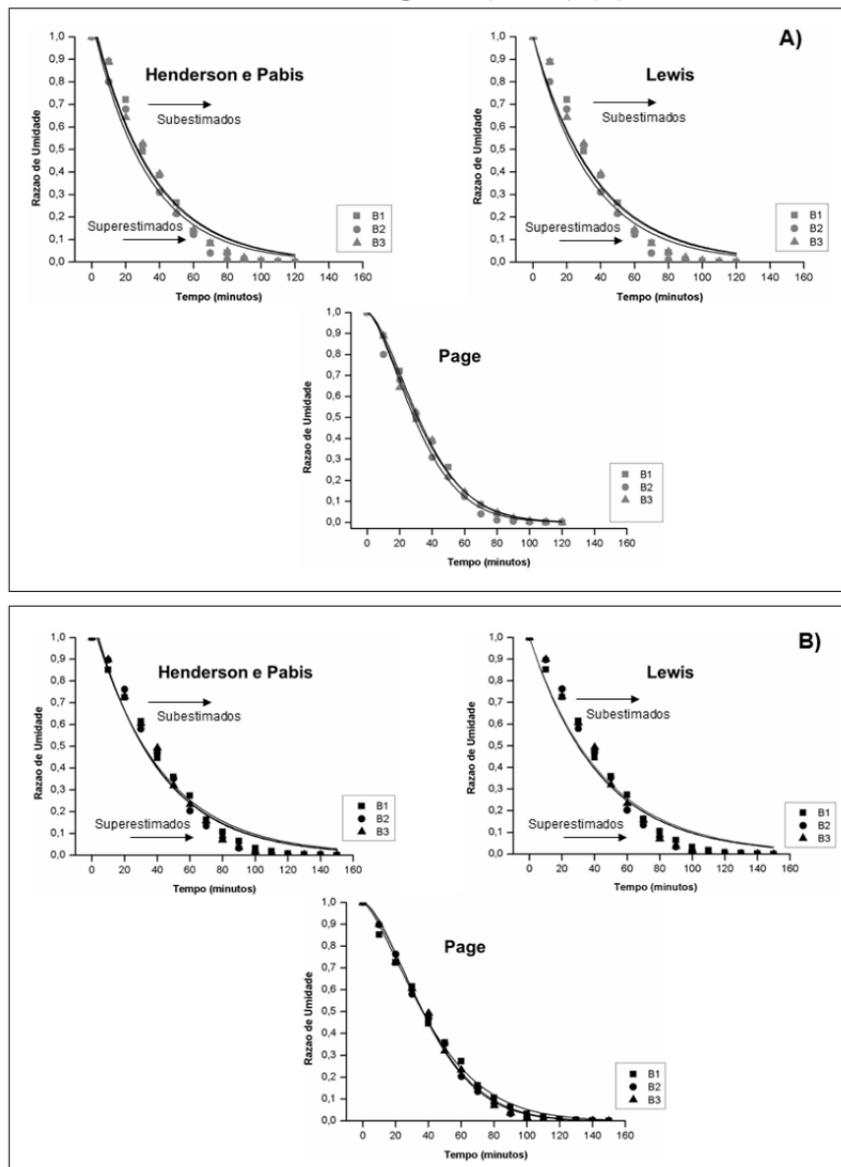
4.2.3 Ajustes dos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page aos dados cinéticos da secagem convectiva e secagem em leito de espuma

Vários modelos matemáticos têm sido propostos para descrever a perda de umidade e a cinética de aumento da temperatura durante o processo de secagem. Estes modelos visam obter parâmetros ideais para a secagem, auxiliam na definição do projeto de um equipamento e a compreender e quantificar a ocorrência de transferência de massa no interior do produto durante o processo de secagem (RATTI, 2009).

Os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page foram selecionados para serem ajustados aos dados das curvas cinéticas de secagem das amostras PSC e PSLE e são

apresentados na Figura 16. As curvas cinéticas foram elaboradas a partir dos dados adimensionais de Razão de Umidade (RU), que foram determinados utilizando os dados experimentais do teor de umidade e foram gerados em função do tempo (minutos).

Figura 16 - Replicatas das curvas cinéticas de secagem ajustadas aos modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Lewis e Page. Apresentação de valores superestimados e subestimados para os modelos de Henderson e Pabis e Lewis. Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leito de espuma (PSLE) (B).



Onde B1, B2 e B3: replicatas dos dados experimentais.

Fonte: Autora (2023).

Na avaliação da qualidade dos ajustes, os modelos de Henderson e Pabis e Lewis apresentaram falta de ajustes no início e no final da secagem subestimando e superestimando,

respectivamente, os valores de razão de umidade, conforme pode ser observado na Figura 16. Devido a essas faltas de ajustes, estes modelos apresentaram os menores valores para o coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 7), embora fossem superiores a 0,960. Por outro lado, o modelo de Page se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais para ambos processos, apresentando R^2 superiores a 0,996 (Tabela 7). Os maiores valores de R^2 encontrados para o modelo de Page indicam bons ajustes do modelo aos dados experimentais, entretanto, este parâmetro não é o suficiente para avaliar a qualidade do ajuste, sendo necessária a avaliação de outros, como por exemplo, o gráfico dos resíduos gerados no ajuste e que são discutidos a seguir.

Tabela 7 - Parâmetros das modelagens matemáticas de Henderson e Pabis, Lewis e Page e coeficiente de determinação (R^2). PSC é Polpa seca convectiva e PSLE é Polpa seca em leito de espuma.

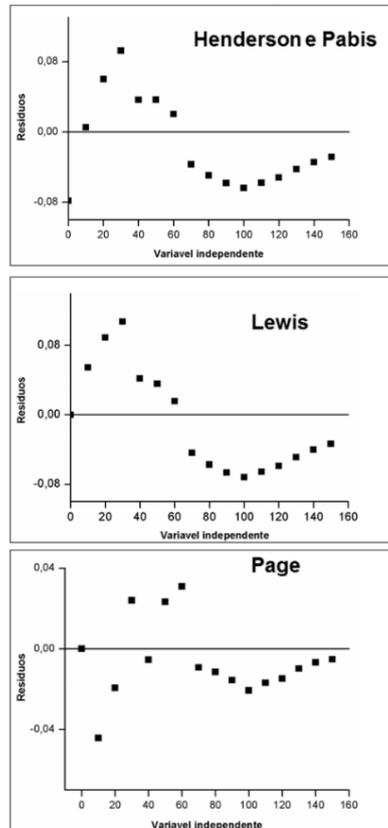
	Modelos	R^2	a	k	n
PSC	Henderson e Pabis	0,966	$1,09 \pm 0,014$	$0,030 \pm 0,001$	-
	Lewis	0,961	-	$0,028 \pm 0,001$	-
	Page	0,996	-	$0,004 \pm 0,001^a$	$1,52 \pm 0,041$
PSLE	Henderson e Pabis	0,967	$1,10 \pm 0,017$	$0,025 \pm 0,001$	-
	Lewis	0,960	-	$0,023 \pm 0,00$	-
	Page	0,997	-	$0,003 \pm 0,001^a$	$1,53 \pm 0,092$

Onde: Parâmetros dos modelos: a , n são adimensionais, k : min^{-1} para Henderson e Pabis e Lewis e k : $(\text{min}^{-1})^n$ para Page. Letras iguais na mesma coluna indicam que não houveram diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: Autora (2023).

Na análise dos gráficos dos resíduos para cada modelo, os mesmos comportamentos foram observados para as amostras PSC e PSLE. A fim de exemplificação, os resíduos dos modelos de Henderson e Pabis, Lewis e Page obtidos para a amostra PSLE são apresentados na Figura 17 (os demais gráficos se encontram no Apêndice A). Logo, analisando estes gráficos, observa-se que os pontos estão distantes da linha central do zero e com um comportamento de tendência para os modelos de Henderson e Pabis e Lewis, caracterizando a super e subestimação dos resultados experimentais conforme já discutido. O modelo de Page, apresenta resíduos menores (os pontos estão mais próximos da linha central do zero) e uma certa aleatoriedade na

distribuição em torno do zero, indicando que, entre os modelos propostos, este modelo apresenta um melhor ajuste matemático o que é corroborado pelos maiores valores de R^2 .

Figura 17 - Resíduos dos modelos de Henderson e Pabis, Lewis e Page para a amostra PSLE.



Fonte: Autora (2023).

Deste modo, o modelo de Page foi o que melhor descreveu o processo de secagem para as amostras PSC e PSLE. O modelo de Page também foi utilizado para descrever os comportamentos de secagem para purê de abóbora ($R^2 > 0,9958$) (PANATO; MULLER, 2021), melão ($R^2 > 0,9894$) (LI *et al.*, 2021), acerola ($R^2 > 0,9943$) (ARAÚJO *et al.*, 2017), morango ($R^2 > 0,9768$) (VIMERCATI *et al.*, 2019), uvaia ($R^2 > 0,995$) (BRANCO *et al.*, 2016) e araticum ($R^2 > 0,9975$) (BOTREL *et al.*, 2016).

Os parâmetros dos modelos a , k e n são apresentados na Tabela 7. Para o modelo de Page, o parâmetro n teve a mesma ordem de grandeza para as amostras PSC e PSLE. Já para o parâmetro k que representa a taxa de secagem calculada pelo modelo de Page (min^{-1}), não foi observada diferença significativa para as amostras PSC e PSLE ($p < 0,05$). Os parâmetros k e n encontrados para o modelo de Page foram semelhantes a literatura, com valores nas faixas de

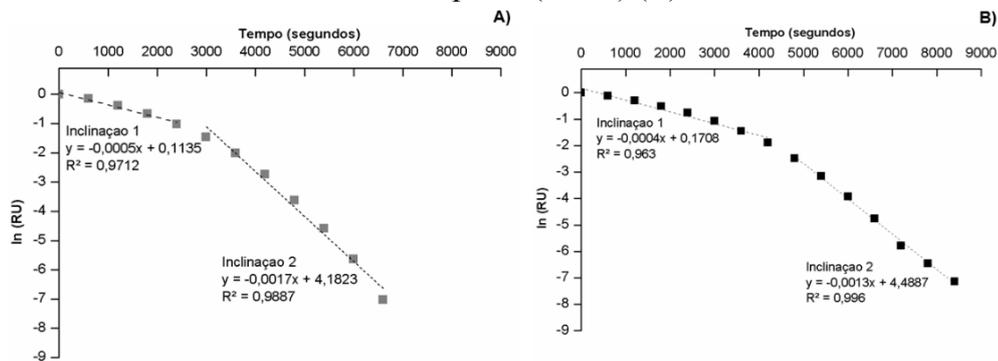
0,0009 a 0,0057 e 1,20 a 1,6237, respectivamente ((BOTREL *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2021; PANATO; MULLER, 2021).

4.2.4 Coeficiente de difusão de umidade efetivo dos processos de secagem convectiva e leito de espuma da polpa de grumixama

O coeficiente de difusão de umidade efetivo (De_{ff}) refere-se aos movimentos de umidade que ocorrem no interior dos materiais durante os processos de secagem (OSAMA *et al.*, 2022). Ele descreve os mecanismos de movimento da água, difusão molecular, difusão de líquido e vapor, difusão hidrodinâmica, entre outros mecanismos de importância para a transferência de massa em alimentos (IZADI *et al.*, 2020).

A Figura 18 apresenta os resultados médios de difusão de umidade efetivo que foram obtidos através da razão logarítmica ($\ln RU$) em função do tempo (segundos) para as amostras PSC (A) e PSLE (B). Além disso, a Tabela 8 mostra os dados referentes aos parâmetros de difusão de umidade efetivo e coeficiente de determinação (R^2) calculados em duas etapas.

Figura 18 - Média de difusão de umidade efetivo em duas etapas. Obtenção das equações da reta e coeficientes de determinação (R^2). Polpa seca convectiva (PSC) (A) e Polpa seca em leito de espuma (PSLE) (B).



Fonte: Autora (2023).

Tabela 8 - Difusão de umidade efetivo e coeficiente de determinação (R^2) calculados em duas etapas. PSC é Polpa Seca Convectiva e PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma.

Amostras	Deff - Etapa 1 ($\times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$)	R² Etapa 1	Deff - Etapa 2 ($\times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$)	R² Etapa 2
PSC	2,03 \pm 0,00 ^{aA}	0,96	6,62 \pm 0,47 ^{aB}	0,97
PSLE	1,76 \pm 0,23 ^{aA}	0,96	5,40 \pm 0,84 ^{aB}	0,99

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. E letras maiúsculas diferentes na mesma linha representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Fonte: Autora (2023).

Devido à falta de um comportamento linear, o De_{ff} foi analisado como a inclinação em duas etapas (Etapa 1 e 2) e desta forma, obteve-se elevados valores de R^2 (Tabela 8), o que indicam um bom ajuste linear. Os cálculos em duas etapas também foram realizados por Izadi *et al.* (2020) e Salahi, Mohebbi e Taghizadeh (2015).

Observa-se que as amostras PSC e PSLE não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para o De_{ff} nas duas etapas. Neste trabalho as amostras seguiram os mesmos padrões de espalhamento (espessuras de 1 mm) e foram utilizadas as mesmas condições de secagem: velocidade do ar de $0,6 \text{ ms}^{-1}$ e temperatura de $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Essa padronização das condições podem justificar a observação do mesmo comportamento para as amostras PSC e PSLE, uma vez que, na literatura, os autores reportam os estudos de De_{ff} utilizando diferentes espessuras e temperaturas para a secagem das amostras e com isso, observaram que a diminuição da espessura, bem como o aumento da temperatura resultaram em valores superiores de De_{ff} . Essas condições foram avaliadas para amostras de queijo (IZADI *et al.*, 2020), yacon (FRANCO *et al.*, 2015), limão (DEHGHANNYA *et al.*, 2018), kadam (OSAMA *et al.*, 2022), maracujá (KHAMJAE; ROJANAKORN, 2018) e melão (SALAH; MOHEBBI; TAGHIZADEH, 2015).

Por outro lado, quando as Etapas 1 e 2 de cada amostra foram comparadas, observou-se diferenças significativas entre as etapas ($p < 0,05$). A Etapa 1 é o período de taxa constante, enquanto que a Etapa 2 é referente ao período de taxa decrescente. Observa-se que os valores das Etapas 2 são 3 vezes superiores a Etapa 1 em ambas as amostras, evidenciando que nesta etapa prevalecem os mecanismos difusionais de remoção de umidade, enquanto que na Etapa 1, os mecanismos de remoção de umidade predominantes são convectivos.

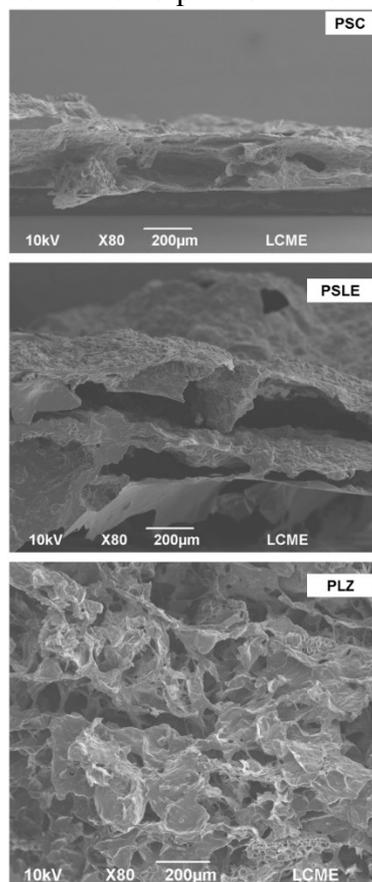
Outra observação importante é que em ambas as amostras, as mudanças de linearidade se correlacionaram com a passagem das amostras do período de taxa constante para o período

de taxa decrescente de secagem. Isto pode ser evidenciado com a observação do tempo obtido para a Etapa 1. Os tempos de ocorrência nesta etapa para as amostras PSC e PSLE foram de 3000 e 4200 segundos, ou seja, 50 e 70 minutos, respectivamente, o que corroboram com o tempo de ocorrência da umidade crítica discutida anteriormente e que separa um período do outro.

4.2.5 Morfologias dos leitos de polpa de grumixama obtidos após os processos de secagem convectiva, em leito de espuma e liofilização

As micrografias obtidas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) das amostras PSC, PSLE e PLZ são apresentadas na Figura 19. As imagens são referentes aos interiores dos materiais ocasionadas pela ação das criofraturas.

Figura 19 - Micrografias obtidas por MEV referentes às amostras criofraturadas após os processos de desidratação. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.



Fonte: Autora (2023).

Observa-se que todas as amostras apresentaram estruturas porosas, evidenciando a maior porosidade na amostra PLZ. Esta característica do leito liofilizado está associada com o processo de sublimação da água, onde são formados os canais, mantendo parcialmente a estrutura primária do sólidos e originando as estruturas porosas, típicas de materiais liofilizados (DUAN *et al.*, 2016; LIU; ZHANG; HU, 2022). Outros autores que estudaram a microestrutura de alimentos liofilizados reportam estruturas porosas em maçã (HUANG *et al.*, 2012), edamame (AN *et al.*, 2022), cebolinha (GU *et al.*, 2022), casca de cacau (VALADEZ-CARMONA *et al.*, 2017), batata (ANDO; NEI, 2022), groselha (SADOWSKA *et al.*, 2019) e iogurte (CARVALHO; PEREZ-PALACIOS; RUIZ-CARRASCAL, 2017).

Em ambos os processos de secagem avaliados observou-se a formação de estruturas semelhantes, com a presença de canais, reentrâncias e cavidades, porém, o leito da PSLE apresenta cavidades maiores e menor compactação quando comparada com o leito da amostra PSC.

O leito da amostra PSC apresentou cavidades, com presença de regiões compactadas que promoveram a redução da espessura do leito. An *et al.* (2022) observaram que a secagem convectiva de edamame resultou em uma estrutura mais compactada e com uma diminuição nas estruturas celulares. Valadez-Carmona *et al.* (2017) reportam que o processo de secagem convectiva de cacau promoveu danos mais severos nas estruturas de cascas do que os processos de micro-ondas e liofilização. Ando e Nei (2022) relataram que avaliando a morfologia de batata seca por ar quente, observaram que as estruturas celulares sofreram processos de compactação com consequente compactação transversal. Resultados semelhantes foram reportados por Sadowska *et al.* (2019) que observaram estruturas celulares rompidas e encolhimento do material em groselha desidratada obtida por secagem convectiva.

Embora o tempo do processo de secagem tenha sido maior para a amostra PSLE, as espumas nas condições de obtenção resultaram em um leito poroso, corroborando com o esperado para um material obtido por secagem em leito de espuma. Vários autores que avaliaram secagem em leito de espuma, reportaram a formação de leitos porosos, com presença de cavidades e regiões com diferentes graus de compactação (BRAR *et al.*, 2020; IZADI *et al.*, 2020; KAMALI *et al.*, 2022).

4.3 AVALIAÇÃO DOS PÓS DESIDRATADOS

4.3.1 Avaliação das propriedades físicas e tecnológicas dos pós de grumixama obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização

As propriedades físicas e tecnológicas dos pós de grumixama PSC, PSLE e PLZ são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Análises de propriedades físicas e tecnológicas dos materiais. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de Espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.

Parâmetros	PSC	PSLE	PLZ
Densidade aparente (g cm ⁻³)	0,48 ± 0,026 ^a	0,61 ± 0,004 ^b	0,20 ± 0,005 ^c
Densidade compactada (g cm ⁻³)	0,63 ± 0,000 ^a	0,78 ± 0,024 ^b	0,25 ± 0,0001 ^c
Índice de Carr	22,42 ± 4,20 ^a	22,27 ± 1,97 ^a	18,89 ± 1,92 ^a
Razão de Hausner	1,29 ± 0,07 ^a	1,29 ± 0,03 ^a	1,23 ± 0,03 ^a
Capacidade de retenção de água (g de água g de sólidos secos ⁻¹)	6,70 ± 0,09 ^a	6,57 ± 0,47 ^a	7,52 ± 0,06 ^b
Capacidade de retenção de óleo (g de óleo g de sólidos secos ⁻¹)	1,72 ± 0,12 ^a	1,80 ± 0,13 ^a	2,71 ± 0,12 ^b
Índice de solubilidade em água (%)	40,74 ± 0,84 ^a	22,70 ± 1,93 ^b	33,40 ± 0,57 ^c

Letras diferentes na linha representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.
Fonte: Autora (2023).

As análises de densidade aparente e compactada podem ser utilizadas para demonstrar o comportamento dos pós. A densidade aparente representa uma medida de importância após os processos de moagem ou secagem de materiais, uma vez que está associada com as condições de armazenamento, processamento, embalagem, transporte e distribuição dos produtos em pó (BARBOSA-CANOVAS *et al.*, 2005).

Para as medidas de densidade aparente e compactada, as amostras PSC, PSLE e PLZ apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). A presença de estruturas altamente porosas na amostra PLZ resultaram nos menores valores de ambas as densidades. O mesmo foi observado por Ando e Nei (2022) e Chen *et al.* (2017).

A amostra PSLE apresentou os maiores valores de densidade aparente e compactada. Estes resultados podem estar associados à adição do isolado proteico de soja e do alginato de sódio na formulação da espuma, que causaram um aumento no teor de sólidos totais dos pós. Em contrapartida, as obtenções de maiores densidades refletem em vantagens quanto ao armazenamento e transporte destes produtos, uma vez que, materiais com estas características necessitam de embalagens de tamanhos menores, além disso, também podem representar economias em relação a confecção destas embalagens (BOTREL *et al.*, 2016; DEHGHANNYA *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2021).

As medidas de densidade aparente e compactada também podem ser utilizadas para a avaliação do Índice de Carr e Razão de Hausner, que indicam o comportamento de fluidez dos pós. Embora essas medidas sejam empíricas, são amplamente utilizadas para prever qualitativamente o comportamento de escoamento dos pós e processos de aglomeração das partículas, sendo utilizadas no setor industrial e acadêmico, devido as técnicas serem de baixo custo, simples e rápidas (SAKER *et al.*, 2019).

As amostras PSC, PSLE e PLZ não apresentaram diferença significativa para os parâmetros de fluidez dos pós ($p < 0,05$). Com isso, todos os pós avaliados apresentaram fluidez entre razoável e aceitável, o que segundo Shishir *et al.* (2014), os caracteriza como pós de qualidade, podendo assim serem utilizados em diferentes formulações, além de apresentarem fácil manuseio.

A Capacidade de Retenção de Água (CRA) representa uma medida da quantidade de água que pode se ligar a um material através de interações químicas e/ou físicas, enquanto que a Capacidade de Retenção de Óleo (CRO) é medida pelos mesmos princípios, porém verifica-se a afinidade dos materiais com os lipídeos (DAY; CAKEBREAD; LOVEDAY, 2022).

As amostras PSC e PSLE não apresentaram diferenças significativas para CRA e CRO ($p < 0,05$), já a amostra PLZ apresentou os maiores valores para os dois parâmetros. Estes maiores valores de CRA e CRO da amostra liofilizada tem sido associado à maior porosidade deste tipo de material o que resulta em uma maior área superficial, favorecendo a retenção de água ou óleo e os mecanismos de capilaridade. Cabe ressaltar que os resultados de CRA e CRO para a amostra PLZ corroboram com os efeitos obtidos pelos menores valores de densidade aparente e compactada encontrados para esta amostra.

De modo geral, as amostras apresentaram maior capacidade de retenção de água em comparação capacidade de retenção de óleo, o que pode estar associado à composição da

grumixama, que como uma parcela importante das frutas, apresenta alto conteúdo de fibras que desempenham um importante papel no aumento da capacidade de retenção de água dos alimentos (MAURYA *et al.*, 2015). Todas as amostras foram capazes de reter mais de 6 g de água e, aproximadamente 2 g de óleo por g de sólidos, o que estabelece uma perspectiva de uso destes pós em sistemas hidrofílicos e de baixa hidrofobicidade. De acordo com a literatura, os conteúdos de fibras em polpas de grumixamas de diferentes estados brasileiros variaram na faixa de 1,25 a 5,94 g/100 g de amostra (TEIXEIRA *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2015; ZOLA *et al.*, 2019).

O índice de solubilidade em água exerce a função de representar em porcentagem a quantidade de substâncias solúveis que estão disponíveis na amostra e são capazes de serem dissolvidas (ASOKAPANDIAN *et al.*, 2016).

A amostra PLZ apresentou valores inferiores para o índice de solubilidade em água quando comparada com a amostra PSC ($p < 0,05$). Caparino *et al.* (2012), observaram menores valores de solubilidade para as amostras de mangas liofilizadas comparadas com as amostras de mangas obtidas por *spray dryer* e atribuem este comportamento ao processo de liofilização, pode ter evitado o rompimento das estruturas celulares, fazendo com que menores quantidades de sólidos fossem dissolvidos no solvente (água).

Já a amostra PSLE apresentou os menores resultados para o índice de solubilidade em água quando comparada com as amostras PSC e PLZ ($p < 0,05$) e este comportamento pode estar associado aos componentes presentes na formulação da amostra. As amostras de aquafaba adicionadas de CMC, alginato de sódio e povidona apresentaram menor molhabilidade devido as propriedades gelificantes destes agentes estabilizadores de espuma (ASLAN; ERTAŞ, 2021). Entretanto, a adição do isolado proteico de soja também pode ter influenciado no índice de solubilidade em água. Day, Cakebread e Loveday (2022), ressaltam que os métodos de extração de proteínas podem afetar a sua solubilidade em água. Koç, Koç e Baysan (2021), relatam que os processos de secagem podem alterar a solubilidade das proteínas, uma vez que, pode promover a emulsificação, gelificação, além do que pode causar desnaturação de suas estruturas, tornando-as menos solúveis. Outros fatores também podem afetar a solubilidade das proteínas, como a sua estrutura, grau de desnaturação e propriedades do meio líquido como temperatura e pH. Resultados semelhantes foram encontrados por Asokapandian *et al.* (2016) para espumas de melão adicionadas de isolado proteico de soja e CMC e secas em diferentes

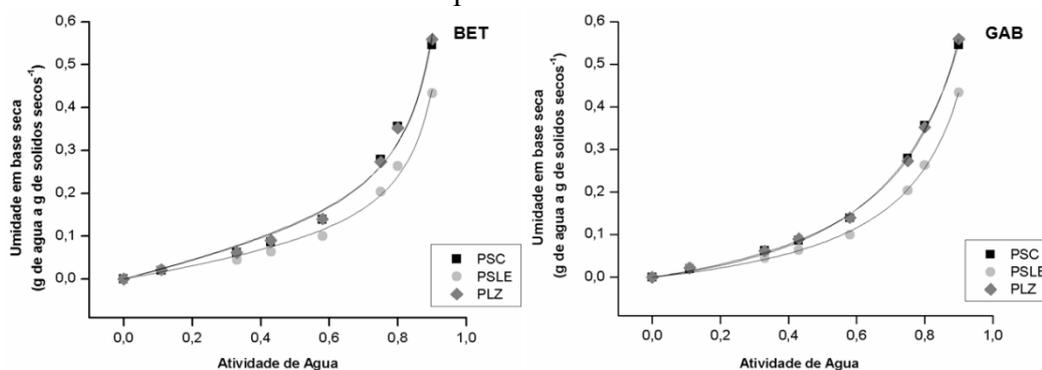
temperaturas (23 a 26 % de índice de solubilidade em água) que observaram menores valores de solubilidade das amostras secas por leito de espuma.

4.3.2 Avaliação das isotermas de adsorção de umidade a 25 °C dos pós de grumixama obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização

As isotermas de sorção de umidade são medidas importantes para a compreensão das interações da água com os compostos presentes nos alimentos. Estas são representadas pelo teor de umidade de equilíbrio em função da umidade relativa do ar (UR) ou atividade de água (A_w) e essa relação ocorre em condições constantes de temperatura e pressão (MUZAFFAR; KUMAR, 2016). Os comportamentos observados nas análises de isotermas de sorção permitem prever a estabilidade e as condições de armazenamento dos materiais desidratados, além disso, podem auxiliar na seleção das misturas de ingredientes e nas escolhas dos tipos de embalagens em que os produtos serão acondicionados (RATTI, 2009). Os materiais sólidos quando expostos a condições crescentes de atividade de água, tendem a ganhar umidade e esse mecanismo é observado na análise de isoterma de adsorção de umidade, que por sua vez, permite descrever o comportamento higroscópico dos materiais (RATTI, 2009).

A Figura 20 apresenta os resultados médios experimentais de isotermas de adsorção de umidade a 25 °C das amostras PSC, PSLE e PLZ e os ajustes dos modelos matemáticos de BET e GAB.

Figura 20 - Valores médios das isotermas de adsorção de umidade a 25 °C e ajustes dos modelos de BET e GAB. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca Leito de Espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.



Fonte: Autora (2023).

As curvas obtidas para as amostras podem ser classificadas como isotermas de tipo III, esse comportamento pode ser encontrado para alimentos que contenham componentes cristalinos e solúveis, como os sacarídeos. Observa-se que nessa classificação, o ganho de umidade é mais baixo até que os componentes cristalinos começam a se dissolver na água que foi retida na superfície do cristal e isto ocorre em condições de atividade de água mais elevadas ($A_w > 0,6$) (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 2007).

Os teores de açúcares encontrados para os frutos de grumixama foram de 2,6 a 3,5 % (TEIXEIRA *et al.*, 2018), 3,93 % (RAMOS *et al.*, 2020), 7,4 % (NASCIMENTO *et al.*, 2017) e 7,86 a 9,45 % para frutos maduros (NEHRING *et al.*, 2022). Além disso, as amostras apresentaram baixos valores de umidade até atividade de água próxima de 0,6 (0,100 a 0,140 g de água a g de sólidos secos⁻¹), já em atividades de água superiores a 0,6, os ganhos de umidade foram mais expressivos (0,204 a 0,559 g de água a g de sólidos secos⁻¹). Esses resultados corroboram com o comportamento apresentado para isotermas do tipo III.

As isotermas do tipo III também foram encontradas para cascas e folhas de laranja (BEJAR; MIHOUBI; KECHAOU, 2012), manga liofilizada (MOREIRA *et al.*, 2013), extrato de beterraba (CARMO *et al.*, 2018) e para subprodutos de uva bordô (SOUZA *et al.*, 2015). Estes autores também relatam que os comportamentos encontrados podem estar relacionados com a composição das amostras que são ricas em açúcares.

Os ajustes matemáticos dos modelos de BET e GAB aos dados experimentais são apresentados na Tabela 10. Observa-se que ambos os modelos se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais com valores de $R^2 > 0,985$, contudo, os valores de R^2 do modelo de GAB foram superiores ao de BET. Além disso, quando analisados os gráficos dos resíduos da amostra PSC (Figura 21), observa-se que os pontos estão mais próximos da linha central do zero para o modelo de GAB. Este comportamento foi observado nas demais amostras, cujos os gráficos dos resíduos se encontram no Apêndice A. Por estas questões, o modelo de GAB foi considerado o mais adequado para prever as condições de isoterma de adsorção de umidade das amostras PSC, PSLE e PLZ.

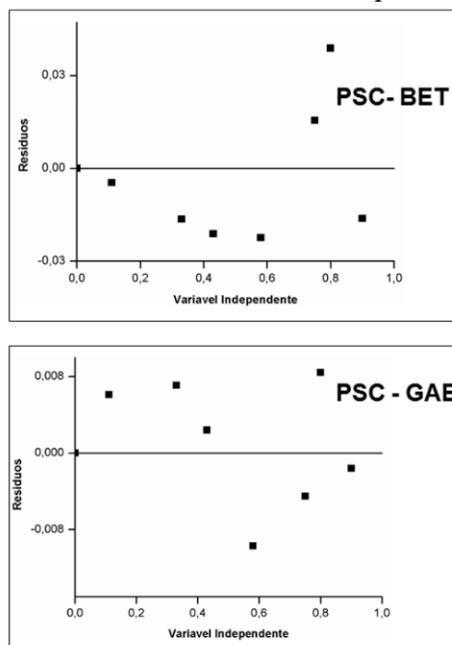
Tabela 10 - Valores médios dos parâmetros das modelagens matemáticas de GAB e BET obtidos para as isotermas de adsorção de umidade a 25 °C. PSC é Polpa seca convectiva, PSLE é Polpa seca em leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.

Parâmetros	PSC		PSLE		PLZ	
	GAB	BET	GAB	BET	GAB	BET
R ²	0,998	0,985	0,997	0,990	0,999	0,990
X _m	0,204	0,120	0,092	0,839	0,134	0,117
k _b	0,84	-	0,91	-	0,89	-
c	0,63	1,79	1,08	1,73	1,05	1,77

Onde: R²: o coeficiente de determinação, X_m: a unidade da monocamada molecular (g de água a g sólidos secos⁻¹), k_b: uma constante na faixa de 0,70 a 1,0 e c: uma constante na faixa de 1 a 20.

Fonte: Autora (2023).

Figura 21 - Resíduos dos modelos de BET e GAB para a amostra PSC.



Fonte: Autora (2023).

De acordo com Barbosa-Cánovas *et al.* (2007), o modelo de BET se ajusta adequadamente em atividades de água entre 0,0 e 0,55, enquanto o modelo GAB se ajusta em uma ampla faixa de atividade de água podendo ser aplicado entre 0,0 e 0,95. A utilização de A_w de 0,11 a 0,90 neste estudo corrobora com as observações da literatura, além disso, o modelo de GAB representa uma adequação do modelo de BET com a adição da constante k_b , o que promove a maior aplicabilidade e versatilidade do modelo (STĘPIEŃ; WITCZAK; WITCZAK, 2020).

Os ajustes dos modelos matemáticos permitem que a determinação do teor de umidade na monocamada molecular (X_m) seja avaliado. Segundo Abrahão *et al.* (2019), este parâmetro está associado à água que se encontra ligada aos sítios ativos presentes na superfície do material e é determinante na estabilidade e vida útil dos alimentos. Sendo assim, a amostra PSLE apresentou os menores valores de X_m (Tabela 10) quando comparada com as demais amostras dos pós avaliados. Este comportamento pode ter relação com a menor higroscopicidade desta amostra, devido à presença de isolado proteico de soja e alginato de sódio na formulação, o que corrobora com o índice de solubilidade em água, uma vez que, esta amostra apresentou o menor resultado para este parâmetro.

Menores absorções de água nas análises de isotermas de adsorção de umidade também foram observadas por Gabas *et al.* (2007), em amostras de polpa de abacaxi adicionadas de maltodextrina e goma arábica quando comparadas com o controle (sem a adição dos polissacarídeos). Os autores reportam que a presença dos aditivos pode ter promovido modificações no equilíbrio dos sítios hidrofílicos/hidrofóbicos, alterando a quantidade de água adsorvida. O mesmo comportamento foi observado por Botrel *et al.* (2016) em estudos com a polpa de araticum adicionada de inulina, por Carmo *et al.* (2018) para extrato de beterraba adicionado de oligossacarídeos e proteínas do soro de leite e por Abrahão *et al.* (2019) para borra de café expresso adicionado de soro de leite, maltodextrina, goma arábica e inulina.

Os parâmetros C e k_b para o modelo de GAB são apresentados na Tabela 10. A energia de sorção para o modelo de GAB é caracterizada pela constante C , que representa a força das moléculas de água de se ligarem aos sítios de ligação presentes na superfície dos produtos, e os valores mais elevados para o parâmetro indicam maiores forças de ligação (STĘPIEŃ; WITCZAK; WITCZAK, 2020). Já o parâmetro k_b representa a interação entre as moléculas de água e os adsorventes presentes na multicamada e valores de $k_b < 1,0$ são característicos de produtos alimentícios (STĘPIEŃ; WITCZAK; WITCZAK, 2020). Observa-se que ambos os parâmetros foram superiores para a amostra PSLE, o que complementa ao observado para a umidade da monocamada molecular (X_m). Estes resultados obtidos para os pós PSLE indicam que esta amostra apresenta uma maior estabilidade quando comparada com as amostras obtidas por secagem convectiva e liofilização.

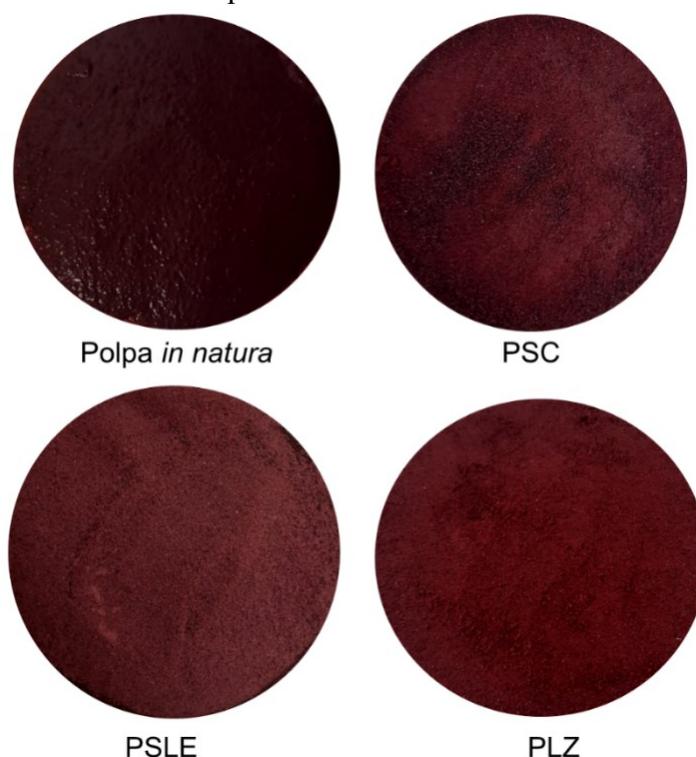
Em geral, os alimentos que possuem atividade de água abaixo de 0,6 podem retardar o desenvolvimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes, além de diminuir a ocorrência de reações químicas indesejáveis (JAY, 2005). Considerando 0,6 a atividade de água

limite para as amostras e utilizando os parâmetros determinados pelo ajuste de GAB, foi possível determinar a umidade de equilíbrio das amostras nessas condições de A_w . Assim, as amostras dos pós PSC, PSLE e PLZ apresentaram umidade de equilíbrio de 0,1062, 0,1247 e 0,1655 de água a g de sólidos secos⁻¹, respectivamente. Estes valores de umidade, em base úmida correspondem a menos de 10% de umidade indicando que a comercialização destas amostras deve ser realizada em embalagens com barreira à permeação de umidade.

4.3.3 Avaliação de cor e diferença total de cor dos pós de grumixama obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização

A Figura 22 apresenta as fotografias da polpa *in natura* e dos pós PSC, PSLE e PLZ que foram obtidos pelos processos de desidratação avaliados. Todos os pós produzidos apresentaram coloração intensa, além disso, observa-se que dentre todas as amostras, a polpa de grumixama *in natura* apresentou a coloração mais escura.

Figura 22 - Fotografias da polpa de grumixama *in natura* e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.



Fonte: Autora (2023).

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros de cor e diferença total de cor para as amostras de polpa de grumixama *in natura* e para os pós PSC, PSLE e PLZ.

Tabela 11 - Resultados instrumentais das análises de cor e diferença total de cor para a polpa de grumixama *in natura* e para os produtos desidratados e resultados obtidos via *site* conversor dos parâmetros de cor. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca Leito de Espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.

Parâmetros	Polpa de grumixama <i>in natura</i>	PSC	PSLE	PLZ
<i>L</i> *	25,42 ± 0,27 ^a	30,56 ± 0,34 ^b	20,85 ± 0,72 ^c	32,85 ± 0,98 ^d
<i>a</i> *	7,74 ± 0,46 ^a	19,81 ± 0,34 ^b	14,72 ± 0,34 ^c	28,18 ± 0,10 ^d
<i>b</i> *	3,34 ± 0,16 ^a	3,51 ± 0,33 ^a	6,80 ± 0,47 ^b	8,38 ± 0,23 ^c
Chroma (<i>C</i> *	8,43 ± 0,48 ^a	20,12 ± 0,39 ^b	16,21 ± 0,50 ^c	29,40 ± 0,14 ^d
Hue (<i>h</i> °)	23,35 ± 0,67 ^a	10,03 ± 0,77 ^b	24,76 ± 1,06 ^a	16,56 ± 0,40 ^c
Diferença de cor (ΔE)	-	13,13 ± 0,40 ^a	9,04 ± 0,71 ^b	22,34 ± 0,43 ^c
Coloração (Site Nix-sensor)				

Letras diferentes na linha representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.
Fonte: Autora (2023).

Na escala CIELAB, a coordenada *L** é referente a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), o *a** varia de 0 a 60 (vermelho) e -60 a 0 (verde), já o *b** varia de 0 a 60 (amarelo) e -60 a 0 (azul) (OZCELIK *et al.*, 2020).

De modo geral, os três processos de desidratação causaram um aumento proporcional nos sólidos presentes nas amostras e que resultaram em maiores valores dos parâmetros *a** e *b** e conseqüentemente no ângulo Hue (*h*°). No que refere a polpa de grumixama *in natura*, o alto teor de umidade pode ter influenciado nos menores parâmetros de *a** e *b**, essas observações também foram feitas por Chen *et al.* (2017) e Peñaloza *et al.* (2022) que avaliaram

a cor de pós liofilizados de amora e bagaço de cenoura preta com as respectivas polpas e observaram menores valores dos parâmetros nas amostras *in natura*.

A amostra PLZ apresentou coloração mais clara, maior intensidade de cor vermelha e amarela ($p < 0,05$), devido aos maiores valores das coordenadas L^* , a^* e b^* , respectivamente. Além disso, a amostra apresentou uma coloração vermelha mais vívida ($C=29,40$ e $h^\circ= 16,56$). O processo de liofilização pode ter preservado e concentrado os pigmentos presentes na polpa de grumixama. O mesmo comportamento foi reportado para amora preta, *goldenberry* e romã avaliados por *Chen et al.* (2017), *Puente et al.* (2020) e *Ozay-Arancioglu et al.* (2022), respectivamente, que compararam diferentes processos de desidratação, incluindo a liofilização.

A amostra PSLE se apresentou como a mais escura (L^* menor) ($p < 0,05$), além disso, entre as amostras desidratadas, foi a que apresentou menor intensidade da coloração avermelhada (a^* e C^* menores). Essas mudanças podem ter sido ocasionadas pela formulação da amostra, sendo que esta obteve uma menor quantidade de sólidos provenientes da polpa de grumixama. Além disso, na amostra PSLE pode ter ocorrido a reação de Maillard e consequentemente a formação de compostos de alto peso molecular chamados de melanoidinas que apresentam coloração marrom e as suas estruturas são compostas de anel furano e nitrogênio (YILMAZ; TOLEDO, 2005). Logo, a temperatura de secagem associada a presença de carboidratos naturalmente presentes nos frutos de grumixama e as proteínas oriundas do isolado proteico de soja, podem ter promovido a reação de Maillard e o surgimento de compostos de coloração marrom na amostra PSLE.

A amostra PSC apresentou elevados valores para os parâmetros L^* , a^* e C^* , indicando uma coloração mais clara, porém com uma intensa coloração avermelhada ($h^\circ= 10,03$), sendo a amostra em pó que mais se aproximou dos resultados de PLZ (melhores características de cor).

O ΔE pode ser utilizado para avaliar a variação de cor das amostras após o processamento (AZIZPOUR; MOHEBBI; KHODAPARAST, 2016) e valores superiores podem indicar maiores diferenças em relação as amostras de referência (OZCELIK *et al.*, 2020). Todas as amostras apresentaram diferenças significativas para o parâmetro ($p < 0,05$). Observa-se que a amostra PLZ se apresentou muito diferente da polpa *in natura*, devido ao elevado valor de ΔE . O mesmo foi observado por Peñaloza *et al.* (2022) que comparou a liofilização com o bagaço de cenoura preta fresco e por Stamenković *et al.* (2019) para

framboesa liofilizada. Já a amostra PSLE apresentou a menor diferença de coloração da polpa *in natura*, devido ao menor valor de ΔE .

4.3.4 Avaliação do teor de antocianinas monoméricas totais na polpa de grumixama *in natura* e nos pós obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização

Em base úmida, a polpa de grumixama *in natura* apresentou o teor de antocianinas monoméricas totais de $859,56 \pm 16,52$ mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1} massa fresca. Esses resultados foram superiores aos encontrados para grumixama por Haminiuk *et al.* (2011) (266,34 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1} massa fresca), Nehring *et al.* (2022) (325,28 a 518,64 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1} massa fresca) e Teixeira *et al.* (2015) (30 a 200 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g^{-1} massa fresca). As diferenças observadas para o conteúdo de antocianinas monoméricas totais podem estar relacionadas com as variações de localidades de colheita dos frutos de grumixama. Nehring *et al.* (2022), coletaram os frutos de grumixama de duas cidades de Santa Catarina (Florianópolis e São Ludgero) e observaram diferenças significativas para o teor de antocianinas monoméricas totais quando estes locais foram comparados. O mesmo foi observado por Nunes *et al.* (2016) e Vuletić *et al.* (2017) para os frutos de jambo-vermelho e acerola colhidos em diferentes regiões geográficas, respectivamente. Além das diferenças ambientes que podem ser determinantes para o teor de antocianinas presentes nos frutos (NUNES *et al.*, 2016), os métodos de extração e solventes utilizados também diferiram da literatura apresentada por Haminiuk *et al.* (2011), Nehring *et al.* (2022) e Teixeira *et al.* (2015), o que também pode ter contribuído para as diferenças observadas no teor de antocininas monoméricas totais.

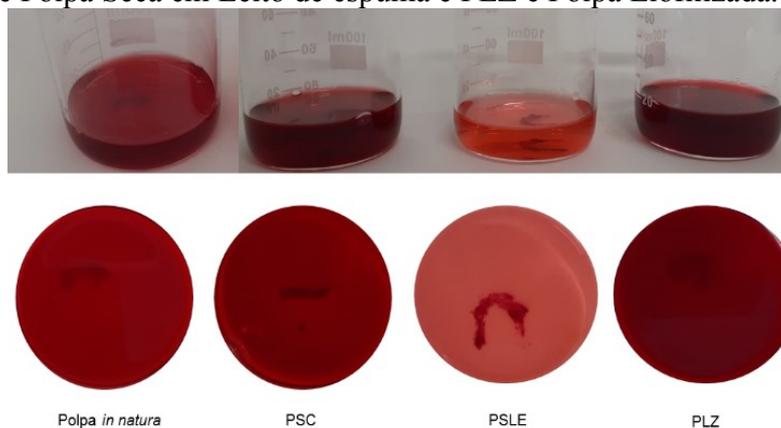
A Tabela 12 apresenta os resultados dos teores de antocianinas monoméricas totais presentes na polpa de grumixama *in natura* e nos pós PSC, PSLE e PLZ em base seca. Além disso, fotografias dos extratos obtidos para cada amostra são apresentadas na Figura 23.

Tabela 12 - Antocianinas monoméricas totais em polpa de grumixama *in natura* e nos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.

Amostras	Antocianinas monoméricas totais (mg de cianidina-3-glicosídeo g ⁻¹ sólidos secos)
Polpa de grumixama <i>in natura</i>	87,19 ± 1,68 ^a
PSC	37,48 ± 0,57 ^b
PSLE	8,33 ± 0,18 ^c
PLZ	72,93 ± 2,54 ^d

Letras diferentes na coluna representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.
Fonte: Autora (2023).

Figura 23 - Fotografias dos extratos obtidos para a análise de antocianinas monoméricas totais da polpa de grumixama *in natura* e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.



Fonte: Autora (2023).

Todas as amostras apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) para o teor de antocianinas monoméricas totais, sendo que a maior concentração foi observada na polpa de grumixama *in natura*, seguido das amostras PLZ, PSC e PSLE, respectivamente.

Em comparação entre a polpa *in natura* e as amostras em pós, a amostra PLZ apresentou o maior teor dos pigmentos. Este comportamento também foi observado para os pós liofilizados de groselha, framboesa e cereja ácida (SADOWSKA *et al.* 2019; STAMENKOVIĆ *et al.* 2019; WOJDY; FIGIEL; LECH, 2014).

A amostra PSC apresentou o segundo maior teor de pigmentos quando comparada com a polpa *in natura*. Para amostras de framboesas *in natura* e congeladas que foram secas por

convecção a 70 °C e velocidade do ar de 0,5 ms⁻¹, Stamenković *et al.* (2019) reportam porcentagens de retenção de 56 e 40 %, respectivamente. Para groselha seca a 70 °C por 48 horas, Sadowska *et al.* (2019) observaram uma porcentagem de retenção de antocianinas de 22,7 %. Já para romã seca a 55 °C e velocidade do ar de 1,3 ms⁻¹, a retenção foi de 44,66 % (OZAY-ARANCIOGLU *et al.*, 2022).

Dentre as amostras de pós avaliadas, a amostra PSLE apresentou o menor teor de pigmentos quando comparada com a polpa *in natura*. Este comportamento está associado a presença do isolado proteico de soja e o alginato de sódio, o que conseqüentemente gerou uma menor porcentagem de polpa de grumixama adicionada, já que as demais amostras eram constituídas apenas de polpa de grumixama *in natura*. As análises de antocianinas monoméricas totais também se correlacionaram com as observações de cor, principalmente quando comparadas as tonalidades das amostras e a intensidade da coloração (Chroma apresentou o menor valor para PSLE).

Cabe ressaltar que embora o calor e o oxigênio sejam fatores que promovem a degradação das antocianinas (CHEN *et al.*, 2017), observa-se que a amostra PSC preservou aproximadamente 50 % dos pigmentos, quando comparada com a amostra PLZ, obtida por liofilização, processo que envolve o uso de baixas temperaturas e a ausência de oxigênio (STAMENKOVIĆ *et al.*, 2019). Além disso, através da análise de microestrutura, observou-se uma maior porosidade para a amostra PLZ, o que também contribuiu para a melhor extração dos pigmentos.

4.3.5 Avaliação da capacidade antioxidante *in vitro* na polpa de grumixama *in natura* e nos pós obtidos por secagem convectiva, secagem em leite de espuma e liofilização

Os métodos de avaliação da capacidade antioxidante *in vitro* são utilizados de maneira a determinar o potencial antioxidante dos alimentos, além disso, estes podem ser de rápida execução, fáceis e de baixo custo (MOTA *et al.*, 2023).

A literatura não recomenda a utilização de um único método para determinar a capacidade antioxidante dos alimentos, ao contrário disso, diversos autores utilizaram três ou mais métodos de comparação, uma vez que, os procedimentos analíticos possuem soluções e reações distintas, com isso, a utilização de diferentes métodos podem permitir uma avaliação mais pronunciada da capacidade antioxidante (ALAM; BRISTI; RAFIQUZZAMAN, 2013;

MOTA *et al.*, 2023). Entre os métodos mais utilizados para essa finalidade, estão o de Capacidade Redutora do Reagente Folin-Ciocalteu (CRFC), DPPH e FRAP.

O método de Capacidade Redutora do Reagente Folin-Ciocalteu (CRFC) é frequentemente descrito na literatura como “Ensaio de fenólicos totais pelo reagente de Folin-Ciocalteu” e é dos métodos mais utilizados para determinar o conteúdo de compostos fenólicos totais presentes nos alimentos, contudo, a reação se baseia em um princípio de oxidação/redução e pode não ser específica somente para compostos fenólicos, pois esta reação engloba outros compostos não fenólicos. Sendo assim, este método foi descrito como Capacidade redutora do reagente Folin-Ciocalteu e os resultados obtidos foram associados aos outros métodos de capacidade antioxidante analisados (MAGALHÃES *et al.*, 2010).

De acordo com Santos-Sánchez *et al.* (2019), o método Folin-Ciocalteu possui a função de determinar e quantificar os compostos fenólicos e outros compostos presentes na amostra e mede a capacidade destas moléculas de reagirem com os agentes oxidantes. A composição do reagente Folin-Ciocalteu é baseada na presença de molibdato de sódio e tungstato. Quando ocorre uma reação de transferência de elétron em pH básico, o molibdato de sódio é reduzido em molibdênio e o tungstato em óxido de tungstênio. A coloração da reação é azul brilhante e o aparecimento de colorações mais claras ou escuras dependem do número de hidroxilas presentes na molécula.

Um dos métodos mais utilizados para determinar a capacidade antioxidante de frutas é o método utilizando o radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH). Este método tem como objetivo determinar a capacidade das substâncias antioxidantes de eliminar os radicais livres através da doação de átomos de hidrogênio ou outros radicais e assim, reduzir o radical DPPH em DPPH-H ou DPPH-R. Uma intensa coloração violeta é obtida para o radical DPPH e à medida que ocorrem as reações com os antioxidantes, uma diminuição na intensidade desta coloração pode ser observada, além disso, uma coloração amarelada pode ser gerada. Na análise de DPPH, a absorbância é analisada durante 30 minutos ou até que a absorbância se apresente de forma estável, sendo assim, os cálculos podem ser obtidos como perda em percentual (ALAM; BRISTI; RAFIQUZZAMAN, 2013; MOTA *et al.*, 2023; SANTOS-SÁNCHEZ *et al.*, 2019).

O método FRAP tem como objetivo avaliar o poder de um composto antioxidante de reduzir o íon férrico (Fe^{3+})-ligante para a forma íon ferroso (Fe^{2+})-ligante. Geralmente, o ligante é o 2,4,6-tris (2-piridil)-s-triazina (TPTZ). Essa reação produz uma coloração azul

intensa, além disso, a reação precisa ocorrer em meio ácido que faz com que haja uma preservação da solubilidade do ferro e também essa condição favorece a condução da transferência de elétrons. O método de FRAP é muito utilizado para amostras hidrofílicas (MOTA *et al.*, 2023; SANTOS-SÁNCHEZ *et al.*, 2019).

Em base úmida, a polpa de grumixama *in natura* apresentou para Capacidade Redutora do Reagente Folin-Ciocateu (CRFC) $343,14 \pm 23,19$ mg eq. de ácido gálico (EAG) 100 g^{-1} de massa fresca. Para DPPH e FRAP, os resultados foram de $1339,91 \pm 13,43$ e $2518,87 \pm 80,29$ μM eq. de Trolox (TE) 100 g^{-1} , respectivamente.

Para a determinação da capacidade antioxidante foi utilizada a metodologia de extração descrita por Nehring *et al.* (2022), que também avalia os frutos de grumixama, porém em diferentes graus de maturação, sendo assim, para os frutos maduros, os resultados de CRFC foram similares aos encontrados pelos autores de 338,22 a 424,00 mg eq. de ácido gálico (EAG) 100 g^{-1} de massa fresca, contudo os resultados de DPPH e FRAP foram menores a este trabalho, onde os autores encontraram valores de 415,09 a 507,28 e 834,68 a 1390,07 μM eq. de Trolox (TE) 100 g^{-1} , respectivamente.

Considerando outros estudos realizados para a capacidade antioxidante de frutos de grumixama, os resultados de CRFC deste trabalho foram superiores aos encontrados por Ramos *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2014) (173,85 e 145,2 mg eq. de ácido gálico (EAG) 100 g^{-1} de massa fresca, respectivamente) e menores aos relatados por Xu *et al.* (2020) (926,0 mg eq. de ácido gálico (EAG) 100 g^{-1} de massa fresca). Já para o método de DPPH os resultados neste trabalho foram similares e na mesma ordem de grandeza aos encontrados por Xu *et al.* (2020) (119,0 μM eq. de Trolox (TE) g^{-1}). Para o método FRAP, Zola *et al.* (2019) expressaram os resultados em Fe^{2+} e encontraram valores de 42,11 μM $\text{Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$ de massa fresca. Zola *et al.* (2019) relataram que as variações na capacidade antioxidante podem ocorrer devido a fatores extrínsecos, como diferenças de métodos e solventes para a preparação das amostras, e por fatores intrínsecos como variedade, estágio de maturação e local de colheita, logo, estes fatores podem justificar as diferenças observadas.

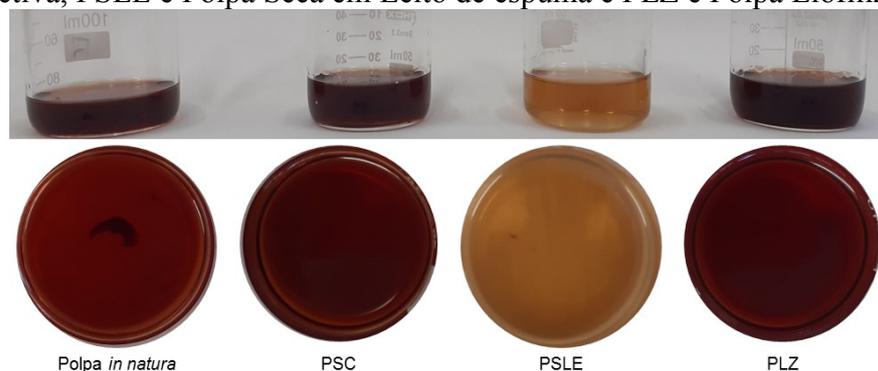
A Tabela 13 mostra os resultados de capacidade antioxidante *in vitro* da polpa de grumixama *in natura* e nos pós PSC, PSLE e PLZ, considerando os resultados em base seca. Já a Figura 24 apresenta as fotografias dos extratos obtidos para cada amostra.

Tabela 13 - Potencial da capacidade antioxidante *in vitro* da polpa de grumixama *in natura* e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.

Amostras	Capacidade redutora do	DPPH	FRAP
	reagente Folin-Ciocateu (mg eq. de ácido gálico (EAG) g ⁻¹ sólidos secos)	(μM eq. de Trolox (TE) g ⁻¹ sólidos secos)	(μM eq. de Trolox (TE) g ⁻¹ sólidos secos)
Polpa de grumixama <i>in natura</i>	34,80 ± 2,35 ^a	135,89 ± 1,36 ^a	255,46 ± 8,14 ^a
PSC	36,9 ± 1,0 ^a	132,34 ± 0,58 ^a	303,64 ± 6,41 ^b
PSLE	8,84 ± 1,31 ^b	30,48 ± 0,09 ^b	81,46 ± 1,85 ^c
PLZ	40,04 ± 1,14 ^a	152,98 ± 1,02 ^c	436,65 ± 8,77 ^d

Letras diferentes na coluna representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.
Fonte: Autora (2023).

Figura 24 – Fotografias dos extratos obtidos para as análises do potencial da capacidade antioxidante *in vitro* da polpa de grumixama *in natura* e dos pós desidratados. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.



Fonte: Autora (2023).

No que se refere à capacidade redutora do reagente Folin-Ciocateu, as amostras de polpa *in natura* e os pós PSC e PLZ não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$). Por outro lado, a amostra PSLE apresentou a menor capacidade antioxidante em comparação com as demais amostras. Resultados na mesma ordem de grandeza foram encontrados por Chen *et al.* (2017), para capacidade redutora do reagente Folin-Ciocateu de amoras pretas *in natura* e desidratadas por secagem convectiva e liofilização ($22,21 \pm 0,21$ a $34,64 \pm 0,04$ mg eq. de ácido gálico g⁻¹ sólidos secos, respectivamente).

As amostras de polpa de grumixama *in natura* e o pó obtido por secagem convectiva (PSC) não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) na capacidade antioxidante

determinada pelo método de redução do radical DPPH. Por outro lado, utilizando este mesmo método, as amostras dos pós PLZ (436,65 μM eq. de Trolox (TE) g^{-1} sólidos secos) e PSLE (81,46 μM eq. de Trolox (TE) g^{-1} sólidos secos) apresentaram a maior e menor capacidade antioxidante, respectivamente.

Na avaliação da capacidade antioxidante pelo método de redução do ferro (FRAP), todas as amostras apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), sendo que os maiores valores foram obtidos na ordem PLZ, PSC, polpa *in natura* e PSLE, respectivamente.

A obtenção de resultados mais elevados de capacidades antioxidantes para a amostra PLZ em comparação com a polpa *in natura* podem ter relação com o fato de que quantidades expressivas de compostos fenólicos estão ligados as estruturas celulares e o processos de desidratação resultam em uma liberação dos compostos ligados a matriz, fazendo com que estas se tornem mais fáceis de serem extraídos (WOJDY; FIGIEL; LECH, 2014). Outro fator que pode estar associado a esses resultados se refere ao processo de extração dos compostos com capacidade antioxidante pode ter sido favorecido pela alta porosidade desta amostra PLZ o que leva a alta área de transferência de massa promovendo uma maior extração em todos os métodos. Resultados de capacidade antioxidante superiores para as amostras liofilizadas quando comparadas com as amostras *in natura* também foram encontrados por Ozay-Arancioglu *et al.* (2022), Puente *et al.* (2020), Valadez-Carmona *et al.* (2017) e Tavares *et al.* (2019).

A amostra PSLE apresentou os menores resultados para todos os métodos analisados, o que pode mais uma vez ser explicado pela presença da elevada concentração de isolado proteico de soja e alginato de sódio adicionados na formulação da espuma. Os resultados também são consistentes com os observados nas análises de cor e antocianinas monoméricas totais, embora estes compostos não sejam os únicos responsáveis pela capacidade antioxidante em frutas e seus produtos. Segundo Sadowska *et al.* (2019), a relação de 40 % de suco de groselha e 60 % de maltodextrina utilizadas para a obtenção de pós pelo método de *spray drying*, reduziram substancialmente o teor de vitamina C, polifenóis totais e capacidade antioxidante da amostra quando comparada com outros métodos de secagem que não empregaram agentes carreadores. Uma redução dos compostos fenólicos presentes nas amostras de espuma de limão adicionadas de 5 a 15 % de goma arábica em comparação com a amostra *in natura* foi relatada por Li *et al.* (2021). Finalmente, a reação de Maillard também tem sido associada à diminuição da capacidade antioxidante em alimentos (NICOLI; ANESE;

PARPINEL, 1999). Brar *et al.* (2020) observaram uma diminuição da capacidade antioxidante de espumas de pêssego adicionadas de IPS e CMC, quando comparadas com as amostras que foram submetidas ao aumento da espessura de 3 para 7 mm e ao aumento da temperatura de 65 para 75 °C e os autores também atribuem à Reação de Maillard.

Em comparação com a polpa *in natura*, a amostra PSC não apresentou diferenças significativas para Capacidade redutora do reagente Folin-Ciocateu e DPPH ($p < 0,05$), além disso, a amostra apresentou um maior resultado do que a polpa *in natura* pelo método de FRAP ($p < 0,05$). Sendo assim, esse comportamento pode ter ocorrido pela influência de duas condições: i) formação de produtos parcialmente oxidados e ii) formação de compostos com maiores atividades antioxidantes (WOJDYŁO; FIGIEL; OSZMIAŃSKI, 2009). De acordo com Nicoli, Anese e Parpinel (1999), as reações de oxidação e reações enzimáticas podem causar uma diminuição da capacidade antioxidante dos polifenóis, sendo que o tempo de processamento e/ou armazenamento possuem grande influência nessa redução. Em contrapartida, os produtos parcialmente oxidados podem apresentar maiores propriedades antioxidantes para os polifenóis, isto porque, estes compostos podem apresentar uma maior capacidade de doar átomos de hidrogênio do grupo hidroxila aromático para um radical livre, além disso, pode ser observada uma maior capacidade de suas estruturas aromáticas de suportar um elétron desemparelhado através da deslocalização ao redor do sistema π -elétron. Produtos da Reação de Maillard (MRPs) podem contribuir para o aumento da capacidade antioxidante. A capacidade antioxidante de morangos desidratados por secagem convectiva foi superior do que para os morangos desidratados por secagem a vácuo e os autores relatam a possibilidade de ocorrência da formação de MRPs (WOJDYŁO; FIGIEL; OSZMIAŃSKI, 2009). O mesmo foi observado para ameixas secas a 85 °C em comparação as amostras frescas (PIGA; CARO; CORDA, 2003), para *goldenberry* submetida a secagem convectiva em comparação com a amostra *in natura* (PUENTE *et al.*, 2020) e para os sucos de uva e jambolão produzidos a 85 °C por 2,5 h em comparação com as frutas *in natura* (TAVARES *et al.*, 2017, 2019).

4.3.6 Avaliação do conteúdo de minerais majoritários na polpa de grumixama *in natura* e nos pós obtidos por secagem convectiva, secagem em leito de espuma e liofilização

Os resultados do conteúdo de minerais majoritários em base seca para a polpa de grumixama *in natura* e para os pós PSC, PSLE e PLZ são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Conteúdo de minerais majoritários em polpa de grumixama *in natura* e das amostras desidratadas. PSC é Polpa Seca Convectiva, PSLE é Polpa Seca em Leito de espuma e PLZ é Polpa Liofilizada.

Amostra	Minerais (mg 100 g ⁻¹ sólidos secos)					Totais
	K	Na	Ca	Mg	Mn	
Polpa <i>in natura</i>	2552,18 ± 4,53 ^{a,b}	31,92 ± 0,85 ^a	193,30 ± 3,85 ^a	189,13 ± 5,14 ^a	11,64 ± 0,06 ^a	2978,17 ± 2,33 ^a
PSC	2405,14 ± 40,47 ^a	32,69 ± 2,05 ^a	154,91 ± 2,75 ^a	176,49 ± 1,71 ^a	12,24 ± 0,01 ^a	2781,47 ± 42,87 ^a
PSLE	2025,34 ± 82,55 ^c	2005,71 ± 204,62 ^b	182,37 ± 23,55 ^a	139,54 ± 5,92 ^b	18,38 ± 1,15 ^b	4371,35 ± 305,95 ^b
PLZ	2734,56 ± 123,48 ^b	36,84 ± 0,10 ^a	181,41 ± 4,45 ^a	204,26 ± 12,28 ^a	11,83 ± 0,55 ^a	3168,90 ± 139,56 ^a

Onde K (potássio), Na (sódio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e Mn (manganês). Letras diferentes na coluna representam diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Autora (2023).

As amostras de polpa *in natura*, PSC e PLZ apresentaram maiores conteúdos de potássio (K), seguidos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e manganês (Mn), respectivamente. Ainda assim, estas amostras não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) quando considerado o conteúdo total de minerais presentes nas amostras.

Os minerais potássio, cálcio, magnésio e sódio também foram encontrados em maiores quantidades por Aguiar *et al.* (2016) e Xu *et al.* (2020) para frutos de grumixama. Já Nehring *et al.* (2022), colheram frutos maduros de grumixama de duas localidades: Florianópolis e São Ludgero e encontraram diferenças para as localidades, sendo que para a última, os minerais seguiram a mesma ordem deste trabalho, já para a cidade de Florianópolis, os maiores conteúdos de minerais foram encontrados na ordem de potássio, sódio, cálcio e magnésio, respectivamente. Em uma avaliação de Zola *et al.* (2019), os autores encontraram maiores quantidades na ordem de cálcio, ferro, potássio, cromo, zinco, níquel e manganês.

O mineral manganês foi encontrado em menores quantidades nos trabalhos de Aguiar *et al.* (2016) e Zola *et al.* (2019), já Xu *et al.* (2020) não avaliaram a presença deste e Nehring *et al.* (2022) ressaltaram que este se apresentou abaixo do limite de detecção.

A amostra PSLE apresentou um comportamento diferente em comparação com as outras amostras. Houve um aumento significativo no conteúdo de sódio ($p < 0,05$), uma vez que, para a formulação da espuma, foi adicionado alginato de sódio, além disso, a amostra também apresentou maior conteúdo de manganês e houve uma diminuição de potássio e de magnésio em comparação com as outras amostras ($p < 0,05$). Como a amostra PSLE apresentou 45 % de isolado proteico de soja e alginato de sódio e 55 % de polpa de grumixama *in natura*, a adição do IPS também pode ter contribuído para a determinação do conteúdo de minerais bem próximos aos encontrados para as outras amostras, isto porque os principais minerais presentes na soja são fósforo, magnésio, cálcio, potássio, sódio, zinco, cobre, ferro e manganês (GREMBECKA; SZEFER, 2022), o que condizem com os minerais encontrados também para a grumixama. Maiores quantidades de minerais para a amostra PSLE seguiram a ordem de potássio, sódio, cálcio, magnésio e manganês, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, os frutos de grumixama são de tamanho pequeno, com massa média de $2,65 \pm 0,73$ g e um elevado rendimento de polpa ($71,60 \pm 0,40$ %), características estas que contribuem para o seu processamento. A polpa de grumixama apresentou elevada umidade ($90,14 \pm 0,10$ %) e se caracteriza como uma polpa ácida ($\text{pH} < 4,0$).

A adição de isolado proteico de soja e de alginato de sódio possibilitaram a formação de uma espuma de grumixama com baixa densidade, estável e totalmente de origem vegetal, que foi utilizada no processo de secagem em leito de espuma. Contudo, a adição destes agentes resultou em uma menor porcentagem de incorporação de polpa de grumixama na amostra, o que influenciou nos resultados de secagem e também de cor, antocianinas monoméricas totais, minerais majoritários e capacidade antioxidante *in vitro*, por outro lado, a amostra se apresentou porosa, o que favoreceu os mecanismos de remoção de umidade e a obtenção de um menor teor de umidade final e conseqüente resultou em uma maior estabilidade.

Os pós obtidos por liofilização apresentaram as melhores características para a maioria dos parâmetros analisados uma vez que, as condições do processo empregado favoreceram a preservação de compostos que possuem facilidade de degradação e produziram materiais com alta porosidade, resultando nos maiores resultados de capacidade de retenção de água e óleo, cor, antocianinas monoméricas totais e capacidade antioxidante *in vitro*.

Os pós obtidos por secagem convectiva apresentaram um menor tempo de secagem, baixo teor de umidade, alta capacidade de retenção de água, alto índice de solubilidade em água, resultados de cor satisfatórios e aproximadamente 50 % de preservação de antocianinas monoméricas totais (quando comparada com a amostra PLZ), indicando que mesmo quando submetidos ao aquecimento e ao contato com o oxigênio, os materiais apresentaram características específicas e que podem estar relacionadas com o controle das variáveis apresentadas no processo de secagem.

Os pós produzidos pelos três processos foram considerados com fluidez de razoável a aceitável, indicando que podem ser de fácil manuseio quando submetidos a aplicações. Além disso, os pós apresentaram uma intensa coloração, podendo ser uma nova possibilidade de obtenção de pigmentos naturais.

Os pós de grumixama obtidos por secagem convectiva e liofilização apresentaram a mesma composição de minerais majoritários em comparação com a polpa *in natura*, indicando

serem potenciais fontes de minerais, enquanto que o pó de grumixama obtido por leite de espuma, apresentou alto conteúdo de sódio, devido a adição de alginato de sódio e este pode ser um fator limitante para determinadas utilizações na indústria de alimentos.

Apesar dos pós de grumixama diferirem entre si a partir de suas características, estes podem ter diferentes aplicações dentro do processamento de alimentos, a depender das formulações desenvolvidas e condições de processos. A obtenção destas frutas em pó pode ser uma alternativa para a preservação da espécie e o aproveitamento do seu elevado potencial agroindustrial, gerando assim, novas cadeias produtivas e fonte de renda para as comunidades locais.

Como estudos futuros, as amostras poderão ser analisadas quanto ao perfil de compostos fenólicos e por bioacessibilidade dos compostos para designar o método mais eficiente em relação aos seus constituintes e então, avaliar os seus custos de produção.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, F. R. *et al.* Microencapsulation of bioactive compounds from espresso spent coffee by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 103, n. 1, p. 116–124, 2019.
- ADEKUNTE, A. O. *et al.* Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 500–507, 2010.
- AFFANDI, N. *et al.* Production of *nigella sativa* beverage powder under foam mat drying using egg albumen as a foaming agent. **Beverages**, v. 3, n. 1, p. 1–15, 2017.
- AGUIAR, T. M.; SABAA-SRUR, A. U. O.; SMITH, R. E. Study of Grumixama (*Eugenia Brasiliensis* Lam) fruit pulp and development of a jelly: Rheological, sensorial and colorimetric evaluation. **The Natural Products Journal**, v. 6, n. 2, p. 142–151, 2016.
- ALAM, M. N.; BRISTI, N. J.; RAFIQUZZAMAN, M. Review on *in vivo* and *in vitro* methods evaluation of antioxidant activity. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 21, n. 2, p. 143–152, 2013.
- AMAGLIANI, L. *et al.* On the foaming properties of plant proteins: Current status and future opportunities. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, n. 1, p. 261–272, 2021.
- AMARANTE, C. V. T.; SANTOS, K. L. Goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 1–2, 2011.
- AN, N. N. *et al.* Effect of different drying techniques on drying kinetics, nutritional components, antioxidant capacity, physical properties and microstructure of edamame. **Food Chemistry**, v. 373, n. 1, p. 1–11, 2022.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of Drying for Dairy Products**. 1. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2017.
- ANDO, Y.; NEI, D. Comparison of potato void structures dried by air - drying, freeze - drying, and microwave - vacuum - drying, and the physical properties of powders after grinding. **Food and Bioprocess Technology**, v. 1, n. 1, p. 1–12, 2022.
- ANGONESE, M. *et al.* Organic dragon fruits (*Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*) grown at the same edaphoclimatic conditions: Comparison of phenolic and organic acids profiles and antioxidant activities. **LWT - Food Science and Technology**, v. 149, n. 1, p. 1–9, 2021.
- ARAÚJO, C.S. *et al.* Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 1, p. 1–9, 2017.
- ARAÚJO, F. F. *et al.* Wild Brazilian species of *Eugenia* genera (Myrtaceae) as an innovation hotspot for food and pharmacological purposes. **Food Research International**, v. 121, p. 57–

72, 2019.

ARAYA-FARIAS, M.; RATTI, C. Dehydration of Foods: General Concepts. In: **Advances in Food Dehydration**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. p. 467.

ASLAN, M.; ERTAŞ, N. Foam drying of aquafaba: Optimization with mixture design. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. e15185, p. 1–11, 2021.

ASOKAPANDIAN, S. *et al.* Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n. 6, p. 692–701, 2016.

AUISAKCHAIYOUNG, T.; ROJANAKORN, T. Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit. **International Food Research Journal**, v. 22, n. 5, p. 2025–2031, 2015.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H. Effects of foam-mat drying temperature on physico-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, n. 1, p. 122–126, 2016.

BARBOSA-CANOVAS, G. V. *et al.* **Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality**. 1. ed. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2005. p.372.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. *et al.* **Water activity in foods: Fundamentals e Applications**. 1. ed. Ames: IFT Press series, 2007.

BEJAR, A. K.; MIHOUBI, N. B.; KECHAOU, N. Moisture sorption isotherms - Experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. **Food Chemistry**, v. 132, n. 4, p. 1728–1735, 2012.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.

BHUSHANI, A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Freeze Drying. In: **Handbook of Drying for Dairy Products**. Chichester: John Wiley & Sons, 2017. p. 95–121.

BORGES, L. L.; CONCEIÇÃO, E. C.; SILVEIRA, D. Active compounds and medicinal properties of *Myrciaria* genus. **Food Chemistry**, v. 153, p. 224–233, 2014.

BOTREL, D. A. *et al.* Application of inulin in thin-layer drying process of araticum (*Annona crassiflora*) pulp. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, n. 1, p. 32–39, 2016.

BRANCO, I. G. *et al.* Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 51, n. 7, p. 1703–1710, 2016.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to

evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BRAR, A. S. *et al.* Optimization of process parameters for foam-mat drying of peaches. **International Journal of Fruit Science**, v. 20, n. 3, p. 1495–1518, 2020.

BRASIL. **Resolução de diretoria colegiada - RDC nº 726, de 1 de julho de 2022**. Dispõe sobre os requisitos sanitários dos cogumelos comestíveis, dos produtos de frutas e dos produtos de vegetais. Brasília, DF, 2022. Disponível em: < <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-726-de-1-de-julho-de-2022-413245341>>. Acesso em: 05 abril 2023.

BREDA, C. A.; SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CORREIA, C. D. A. C. Shelf life of powdered *Campomanesia adamantium* pulp in controlled environments. **Food Chemistry**, v. 135, n. 4, p. 2960–2964, 2012.

CAO, J. *et al.* Soy protein isolate/sodium alginate microparticles under different pH conditions: formation mechanism and physicochemical properties. **Foods**, v. 11, n. 6, p. 1–15, 2022.

CAPARINO, O. A. *et al.* Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine* ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135–148, 2012.

CARMO, E. L. *et al.* Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food Chemistry**, v. 249, n. 1, p. 51–59, 2018.

CARVALHO, M. J.; PEREZ-PALACIOS, T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Physico-chemical and sensory characteristics of freeze-dried and air- dehydrated yogurt foam. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, n. 1, p. 328–334, 2017.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152–167, 2018.

CHANDORKAR, N. *et al.* A systematic and comprehensive review on current understanding of the pharmacological actions, molecular mechanisms, and clinical implications of the genus *Eucalyptus*. **Phytomedicine Plus**, v. 1, n. 4, p. 1-20, 2021.

CHAVES, M. A. *et al.* Physicochemical and sensory properties of purple Brazilian cherry (*Eugenia uniflora*, L.) foams. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 48, n. 8, p. 1688–1697, 2013.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, p. 657–668, 2005.

CHEN, Q. *et al.* Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, n. 1, p. 178–184, 2017.

CHING, S. H.; BANSAL, N.; BHANDARI, B. Alginate gel particles—A review of production techniques and physical properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1133–1152, 2017.

CHINWAN, D.; CASTELL-PEREZ, M. E. Effect of conditioner and moisture content on flowability of yellow cornmeal. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 3261–3272, 2019.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 2005. 320p.

CITADIN, I.; DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z. Jaboticabeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 656, 2010.

COLLA, A. R. S. *et al.* Involvement of monoaminergic systems in the antidepressant-like effect of *Eugenia brasiliensis* Lam. (Myrtaceae) in the tail suspension test in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 143, n. 2, p. 720–731, 2012.

COSTA, A. G. V. *et al.* Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red–black berries. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 2, p. 539–549, 2013.

DANNER, M. A. *et al.* Formação de mudas de jaboticabeira (*Plinia* sp.) em diferentes substratos e tamanhos de recipientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 179–182, 2007.

DAY, L.; CAKEBREAD, J. A.; LOVEDAY, S. M. Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. **Trends in Food Science and Technology**, v. 119, n. 1, p. 428–442, 2022.

DEGHANNYA, J. *et al.* Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying : Experimental and numerical investigation. **Powder Technology**, v. 328, n. 1, p. 470–484, 2018.

DELGADO, J. M. P. Q.; SILVA, M. . Food Dehydration: Fundamentals, modelling and applications. In: **Transport Phenomena and Drying of Solids and Particulate Materials**. 1. ed. Switzerland: Springer, 2014. p. 204.

DONADIO, L. C. **Study of some brazilian myrtaceae in jaboticabal- SP**. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/31436>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

DUAN, X. *et al.* Technical aspects in freeze-drying of foods. **Drying Technology**, v. 34, n. 11, p. 1271–1285, 2016.

ELIK, A. *et al.* Strategies to reduce post-harvest losses for fruits and vegetables. **International Journal of Scientific and Technological Research**, v. 5, n. 3, p. 29–39, 2019.

FAO. **Food Loss and Food Waste**. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

FAO. **Definitional Framework of Food Loss**. Disponível em:

<http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/save-food/PDF/FLW_Definition_and_Scope_2014.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

FAO. **Fruit and vegetables – your dietary essentials. The International Year of Fruits and Vegetables**. Disponível em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344921003232>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

FAO/WHO. **Ranking of low-moisture foods in support of microbiological risk management**. Disponível em: <<https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240044036>>. Acesso em: 26 set. 2022.

FRANCO, T. S. *et al.* Effect of process parameters on foam mat drying kinetics of yacon (*smallanthus sonchifolius*) and thin-layer drying modeling of experimental data. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. e12264, p. 1–10, 2015.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: Princípios e Prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FLORES, G. *et al.* Anthocyanins from *Eugenia brasiliensis* edible fruits as potential therapeutics for COPD treatment. **Food Chemistry**, v. 134, n. 3, p. 1256–1262, 2012.

FRANZON, R. C. *et al.* **Araçás do Gênero *Psidium*: principais espécies, ocorrência, descrição e usos**. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009.

FRAUCHES, N. *et al.* Brazilian Myrtaceae fruits: a review of anticancer proprieties. **British Journal of Pharmaceutical Research**, v. 12, n. 1, p. 1–15, 2016.

FU, S. *et al.* Relevance of rheological properties of sodium alginate in solution to calcium alginate gel properties. **AAPS PharmSciTech**, v. 12, n. 2, p. 453–460, 2011.

FUJITA, A. *et al.* Impact of spouted bed drying on bioactive compounds, antimicrobial and antioxidant activities of commercial frozen pulp of camu-camu (*Myrciaria dubia* Mc. Vaugh). **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 495–500, 2013.

GABAS, A. L. *et al.* Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 2, p. 246–252, 2007.

GRANATO, D.; NUNES, D. S. Padronização das metodologias ABTS, DPPH e FRAP para a determinação da capacidade antioxidante *in vitro* utilizando microvolumes. In: **Análises químicas, propriedades funcionais e controle de qualidade de alimentos e bebidas**. 1. ed. São Paulo: GEN LTC, 2016. p. 576.

GEANKOPLIS, C. J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. 3. ed. México: CECSA, 1998. p. 1008.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. F:F1:F1.2, p. 1–13, 2001.

GREMBECKA, M.; SZEFER, P. Elemental profiles of legumes and seeds in view of chemometric approach. **Applied Sciences**, v. 12, n. 3, p. 1–15, 2022.

GRESSLER, E.; PIZO, M. A.; MORELLATO, L. P. C. Polinização e dispersão de sementes em Myrtaceae do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 509–530, 2006.

GU, C. *et al.* Effects of catalytic infrared drying in combination with hot air drying and freeze drying on the drying characteristics and product quality of chives. **LWT - Food Science and Technology**, v. 161, n. 1, p. 1–9, 2022.

GUINÉ, R. P. F. The drying of foods and its effect on the physical-chemical, sensorial and nutritional properties. **International Journal of Food Engineering**, v. 4, n. 2, p. 93–100, 2018.

HAMINIUK, C. W. I. *et al.* Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 7, p. 1529–1537, 2011.

HARDY, Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560–2572, 2017.

HARGUINDEGUY, M.; FISSORE, D. On the effects of freeze-drying processes on the nutritional properties of foodstuff: A review. **Drying Technology**, v. 38, n. 7, p. 846–868, 2020.

HAYOUNI, E. A. *et al.* Mechanism of action of *Melaleuca armillaris* (Sol. Ex Gaertn) Sm. essential oil on six LAB strains as assessed by multiparametric flow cytometry and automated microtiter-based assay. **Food Chemistry**, v. 111, n. 3, p. 707–718, 2008.

HE, M. *et al.* Effects of glycation and acylation on the structural characteristics and physicochemical properties of soy protein isolate. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 1, p. 1737–1750, 2021.

HUANG, L.L. *et al.* Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 183–188, 2012.

HUI, W. H.; LI, M. M.; LUK, K. Triterpenoids and steroids from *Rhodomyrtus tomentosa*. **Phytochemistry**, v. 14, n. 3, p. 833–834, 1975.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos**. 1. ed. Madrid: Mundi-prensa, 2005.

INADA, K.O.P. *et al.* Jaboticaba berry: A comprehensive review on its polyphenol composition, health effects, metabolism, and the development of food products. **Food**

Research International, v. 147, n. 1, p. 1–39, 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos - 1ª Edição Digital**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

INYANG, U.E.; OBOH, I.O.; ETUK, B.R. Kinetic models for drying techniques—Food materials. **Advances in Chemical Engineering and Science**, v. 8, n. 2, p. 27–48, 2018.

IZADI, Z. *et al.* Cheese powder production and characterization: A foam-mat drying approach. **Food and Bioproducts Processing**, v. 123, n. 1, p. 225–237, 2020.

JAFARI, S. M.; GHALENOEI, M. G.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 311, n. 1, p. 59–65, 2017.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.771 p.

JÚNIOR, A. J. F. Water Activity of Saturated Salt Solutions. In: **Water activity in Foods: Fundamentals e Applications**. 1. ed. Ames: Blackwell Publishing Professional, 2007. p. 392–403.

JUNIOR, J. F. DA S.; SOUZA, F. V. D.; PÁDUA, J. G. **A arca de Noé das frutas nativas brasileiras**. 1. ed. Brasília: [Embrapa], 2021, p.220.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, n. 1, p. 488–495, 2011.

KALMAN, H. Effect of moisture content on flowability: Angle of repose, tilting angle, and Hausner ratio. **Powder Technology**, v. 393, n. 1, p. 582–596, 2021.

KAMALI, R. *et al.* Numerical simulation and experimental investigation of foam-mat drying for producing banana powder as influenced by foam thickness. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 1–16, 2022.

KHAMJAE, T.; ROJANAKORN, T. Foam-mat drying of passion fruit aril. **International Food Research Journal**, v. 25, n. 1, p. 204–212, 2018.

KLICKA, M. .; SMITH, M. . **Food for U.S. manned space flight**. 1. ed. Natick: United States Army Natick Research & Development Laboratories, 1982.p.97.

KOÇ, B.; KOÇ, M.; BAYSAN, U. Food powders bulk properties. In: **Food Powders Properties and Characterization**. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer, 2021. p. 202.

KOÇ, G.Ç *et al.* Recent development in foam-mat drying process: Influence of foaming agents and foam properties on powder properties. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 25, n. 5, p. 539–557, 2022.

KROLOW, A. C. R. Geléia de Uvaia. **Comunicado Técnico Online**, v. 228, n. 1, p. 1–3, 2009.

KUMAR, R. K. *et al.* A Review of drying technology in tea sector of industrial, non-conventional and renewable energy based drying systems. **Applied Thermal Engineering**, v. 224, n. 1, p. 1–25, 2023.

KUMMU, M. *et al.* Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. **Science of The Total Environment**, v. 438, n. 1, p. 477–489, 2012.

LI, T. S. *et al.* Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. **Food Hydrocolloids**, v. 116, n. 1, p. 1–10, 2021.

LIMA, A. B. *et al.* Hypolipemiant and antioxidant effects of *Eugenia brasiliensis* in an animal model of coconut oil-induced hypertriglyceridemia. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 96, n. 1, p. 642–649, 2017.

LIU, Y.; ZHANG, Z.; HU, L. High efficient freeze-drying technology in food industry. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, n. 12, p. 1–19, 2022.

LUENGO, R. F. A. *et al.* Como reduzir o desperdício ao longo da cadeia produtiva de hortaliças e frutas? Contribuição de duas tecnologias Embrapa para campo e distribuição. In: **Desperdício de Alimentos [recurso eletrônico]: velhos hábitos, novos desafios**. 1.ed. Caxias do Sul: Educs, 2018. p.419.

MAGALHÃES, L. M. *et al.* Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-Ciocalteu reducing capacity. **Talanta**, v. 83, n. 2, p. 441–447, 2010.

MANI, A.; MISHRA, R.; THOMAS, G. Elucidation of diversity among *psidium* species using morphological and SPAR methods. **Journal of Phytology**, v. 3, n. 8, p. 53–61, 2011.

MAURYA, A. K. *et al.* Waste product of fruits and vegetables processing as a source of dietary fibre: a review. **Trends in Biosciences**, v. 8, n. 19, p. 5129–5140, 2015.

MITRA, S. K. *et al.* Taxonomy and importance of Myrtaceae. **Acta Horticulturae**, v. 959, p. 23–34, 2012.

MOHAN, V. P. C.; TALUKDAR, P. Experimental studies for convective drying of potato. **Heat Transfer Engineering**, v. 35, n. 14–15, p. 1288–1297, 2014.

MORAIS, A. R. D. V. *et al.* Freeze-drying of emulsified systems: A review. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 503, n. 1–2, p. 102–114, 2016.

MOREIRA, T. B. *et al.* Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga

- lioofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093–1098, 2013.
- MOUNIR, S. Foam mat drying. In: **Drying Technologies For Foods: Fundamentals And Applications: Part III**. 1. ed. New Delhi: NIPA, 2018. p. 169–191.
- MOTA, J. C. *et al.* Far from being a simple question: The complexity between in vitro and in vivo responses from nutrients and bioactive compounds with antioxidant potential. **Food chemistry**, v. 402, n. 1, p. 1–16, 2023.
- MUDIANA, D. *Syzygium* diversity in Gunung Baung, East Java, Indonesia. **Biodiversitas**, v. 17, n. 2, p. 733–740, 2016.
- MURRAY, B. S. Recent developments in food foams. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 50, n. 1, p. 1–14, 2020.
- MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 291, n. 1, p. 322–327, 2016.
- NAIR, K. N. **The genus *Syzygium*: *Syzygium cumini* and other underutilized species**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2017.p.270.
- NASCIMENTO, L. *et al.* Characterization of Bioactive Compounds in *Eugenia brasiliensis*, Lam. (Grumixama). **Nutrition and Food Technology: Open Access**, v. 3, n. 3, p. 1–7, 2017.
- NAWIRSKA, A. *et al.* Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 14–20, 2009.
- NEHRING, P. **Avaliação da capacidade antioxidante e compostos fenólicos em diferentes estádios de maturação da grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck)**. 2016. p.133. Dissertação (Mestrado em ciência dos alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- NEHRING, P. *et al.* Grumixama (*Eugenia brasiliensis* Lamarck) functional phytochemicals: Effect of environmental conditions and ripening process. **Food Research International**, v. 157, n. 1, p. 1–9, 2022.
- NERI-NUMA, I. A. *et al.* Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, v. 103, n. 1, p. 345–360, 2018.
- NICOLI, M.C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 10, n. 1, p. 94–100, 1999.
- NISHINARI, K. *et al.* Soy proteins : A review on composition, aggregation and emulsification. **Food hydrocolloids**, v. 39, n. 1, p. 301–318, 2014.

- NUNES, P.C. *et al.* Physico-chemical characterization, bioactive compounds and antioxidant activity of Malay apple [*Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L.M. Perry]. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1–11, 2016.
- ONWUDE, D. I. *et al.* How much do process parameters affect the residual quality attributes of dried fruits and vegetables for convective drying? **Food and Bioproducts Processing**, v. 131, n. 1, p. 176–190, 2022.
- OSAMA, K. *et al.* Development of under-utilized kadam (*Neolamarkia cadamba*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 154, n. 1, p. 1–8, 2022.
- OZAY-ARANCIOGLU, I. *et al.* Effect of different drying methods on the bioactive, microstructural, and in-vitro bioaccessibility of bioactive compounds of the pomegranate arils. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 1–9, 2022.
- OZCELIK, M. *et al.* Storage stability of dried raspberry foam as a snack product: Effect of foam structure and microwave-assisted freeze drying on the stability of plant bioactives and ascorbic acid. **Journal of Food Engineering**, v. 270, n. 1, p. 1–9, 2020.
- OZEL, B. *et al.* Challenges in dried whey powder production: Quality problems. **Food Research International**, v. 160, n. 1, p. 1–14, 2022.
- PANATO, K.; MULLER, C. M. O. Drying kinetics and physicochemical and technological properties of pumpkin purée flour dried by convective and foam-mat drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. e16264, n. 1, p. 1–14, 2021.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, n. 1, p. 36–60, 2013.
- PEÑALOZA, S. *et al.* The anthocyanin's role on the food metabolic pathways, color and drying processes: An experimental and theoretical approach. **Food Bioscience**, v. 47, n. 1, p. 1–20, 2022.
- PEREIRA, M. C. *et al.* Characterization and antioxidant potential of Brazilian fruits from the Myrtaceae family. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 12, p. 3061–3067, 2012.
- PERERA, C. Selected quality attributes of dried foods. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 717–730, 2005.
- PIGA, A.; CARO, A.D; CORDA, G. From plums to prunes : Influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 12, p. 3675–3681, 2003.
- PUENTE, L. *et al.* Refractance window drying of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pulp : A comparison of quality characteristics with respect to other drying techniques. **LWT - Food Science and Technology**, v. 131, n. 1, p. 1–7, 2020.

- QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1667–1676, 2020.
- QUEZADA, M. *et al.* A first genetic map of *Acca sellowiana* based on ISSR, AFLP and SSR markers. **Scientia Horticulturae**, v. 169, p. 138–146, 2014.
- RAJKUMAR, P. *et al.* Foam mat drying of alphonso mango pulp. **Drying Technology**, v. 25, n. 1, p. 357–365, 2007.
- RAMOS, A. L. C. C. *et al.* Chemical profile of *Eugenia brasiliensis* (Grumixama) pulp by PS/MS paper spray and SPME-GC / MS solid-phase microextraction. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1–35, 2020.
- RATTI, C. **Advances in food dehydration**. 1. ed. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. p. 467.
- RE, R. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, 1999.
- REMA, J.; KRISHNAMOORTHY, B. Allspice. In: **Handbook of Herbs and Spices: Second Edition**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2012. p. 166–192.
- REY, L.; MAY, J. C. **Freeze-Drying/lyophilization of Pharmaceutical and Biological Products**. 1. ed. New York: Marcel Dekker, 1999.
- REYNERTSON, K. A. *et al.* Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, v. 109, n. 4, p. 883–890, 2008.
- RIBEIRO, O. D. *et al.* Seed anatomy and histochemistry of *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh, an Amazonian Myrtaceae. **Flora**, v. 280, n. 1, p. 1–7, 2021.
- RIZELIO, V. M. *et al.* Fast determination of cations in honey by capillary electrophoresis: A possible method for geographic origin discrimination. **Talanta**, v. 99, n. 1, p. 450–456, 2012.
- SADAHIRA, M. S. *et al.* Effect of egg white protein-pectin electrostatic interactions in a high sugar content system on foaming and foam rheological properties. **Food Hydrocolloids**, v. 58, n. 1, p. 1–10, 2016.
- SADOWSKA, A. *et al.* Properties and microstructure of blackcurrant powders prepared using a new method of fluidized-bed jet milling and drying versus other drying methods. **CYTA - Journal of Food**, v. 17, n. 1, p. 439–446, 2019.
- SAKER, A. *et al.* Powders flowability assessment in granular compaction: What about the consistency of Hausner ratio? **Powder Technology**, v. 354, n. 1, p. 52–63, 2019.
- SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe

- (*cucumis melo*): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 1, p. 1798–1808, 2015.
- SANGAMITHRA, A. *et al.* Foam Mat Drying of Food Materials: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 1, p. 3165–3174, 2015.
- SANTIAGO, M. C. P. A. *et al.* Characterization of jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) fruit peel powder for use as natural colorant. **Fruits**, v. 71, n. 1, p. 3–8, 2016.
- SANTOS, D.C.; OLIVEIRA, E. N. A. Processamento de frutas. In: **Tecnologia e processamento de frutos e hortaliças**. 1.ed. Natal: IFRN, 2015. p.234.
- SANTOS, L. S. *et al.* Chemotaxonomic evaluation of different species from the Myrtaceae family by UPLC-qToF/MS-MS coupled to supervised classification based on genus. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 90, n. 1, p. 1–10, 2020.
- SANTOS, P. H. S.; SILVA, M. A. Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables-a review. **Drying Technology**, v. 26, p. 1421–1437, 2008.
- SANTOS-SÁNCHEZ, F. N. *et al.* Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. In: **Antioxidants**. 1. ed. Londres: IntechOpen, 2019. p. 1–30.
- SARDI, J. C. O. *et al.* Unexplored endemic fruit species from Brazil: Antibiofilm properties, insights into mode of action, and systemic toxicity of four *Eugenia spp.* **Microbial Pathogenesis**, v. 105, n. 1, p. 280–287, 2017.
- SCHOTSMANS, W. C. *et al.* Feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret). In: **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 115-135.
- SHISHIR, M. R. I. *et al.* Physical Properties of Spray-dried Pink Guava (*Psidium guajava*) Powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, n. 1, p. 74–81, 2014.
- SIDDIQUE, S. *et al.* The essential oil of *Melaleuca armillaris* (Sol. ex Gaertn.) Sm. leaves from Pakistan: A potential source of eugenol methyl ether. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 912–917, 2017.
- SIEBERT, D. A. *et al.* Evaluation of seasonal chemical composition, antibacterial, antioxidant and anticholinesterase activity of essential oil from *Eugenia brasiliensis* Lam. **Natural Product Research**, v. 29, n. 3, p. 289–292, 2015.
- SIFAT, S. A. D. *et al.* Response surface approach to optimize the conditions of foam mat drying of plum in relation to the physical-chemical and antioxidant properties of plum powder. **International Journal of Food Science**, v. 2021, n. 1, p. 1–16, 2021.
- SILVA, A. V.; YERENA, L. R.; NECHA, L. L. B. Chemical profile and antifungal activity of plant extracts on *Colletotrichum spp.* isolated from fruits of *Pimenta dioica* (L.) Merr. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 179, n. 1, p. 1–10, 2021.

SILVA, N. A. *et al.* Phenolic compounds and carotenoids from four fruits native from the Brazilian Atlantic forest. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 22, p. 5072–5084, 2014.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, n. 1, p. 152–178, 1999.

SIMÕES, R. R. *et al.* *Eugenia brasiliensis* leaves extract attenuates visceral and somatic inflammatory pain in mice. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 217, n. 1, p. 178–186, 2018.

SOUZA, A. M. *et al.* Traditional uses, phytochemistry, and antimicrobial activities of *eugenia* species - a review. **Planta Medica**, v. 84, n. 1, p. 1232–1248, 2018.

SOUZA, V. B. *et al.* Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, n. 1, p. 39–50, 2015.

STAMENKOVIĆ, Z. *et al.* Convective drying of fresh and frozen raspberries and change of their physical and nutritive properties. **Foods**, v. 8, n. 7, p. 1–14, 2019.

STĘPIEŃ, A.; WITCZAK, M.; WITCZAK, T. Moisture sorption characteristics of food powders containing freeze dried avocado, maltodextrin and inulin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, n. 1, p. 256–261, 2020.

STONE, A. K. *et al.* Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. **Food Research International**, v. 76, n. 1, p. 31–38, 2015.

SUGUINO, E. *et al.* Efeito da porosidade do substrato casca de pínus no desenvolvimento de mudas de grumixameira¹. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 643–648, 2011.

TAN, S. *et al.* The effects of drying methods on chemical profiles and antioxidant activities of two cultivars of *Psidium guajava* fruits. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, n. 1, p. 1–7, 2020.

TANG, X.; PIKAL, M. J. Design of Freeze-Drying Processes for Pharmaceuticals: Practical Advice. **Pharmaceutical Research**, v. 21, n. 2, p. 191–200, 2004.

TAVARES, I. M.C. *et al.* Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, v. 102, n. 1, p. 32–42, 2017.

TAVARES, I. M.C. *et al.* BRS Violeta (BRS Rúbea × IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying . Part I : Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, n. 1, p. 1–11, 2019.

TAVARES, I. M.C. *et al.* Storage stability of the phenolic compounds, color and antioxidant

activity of jambolan juice powder obtained by foam mat drying. **Food Research International**, v. 128, n. 1, p. 1–9, 2020.

TEIXEIRA, L. D. L. *et al.* Identification of Ellagitannins and Flavonoids from *Eugenia brasilienses* Lam. (Grumixama) by HPLC-ESI-MS/MS. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 63, n. 22, p. 5417–5427, 2015.

TEIXEIRA, L. DE L.; HASSIMOTTO, N. M. A.; LAJOLO, F. M. Grumixama— *Eugenia brasiliensis* Lam. In: **Exotic Fruits**. 1. ed. London: Academic Press, 2018. p. 219–224.

TEKGÜL, Y. Optimization of foaming process: Drying behaviour, physicochemical, and powder properties of hot air-assisted foam-mat dried nectarine. **International Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 10, p. 815–826, 2021.

THORNHILL, A. H. *et al.* Interpreting the modern distribution of Myrtaceae using a dated molecular phylogeny. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 93, p. 29–43, 2015.

TRAN, D. B. *et al.* An assessment of potential responses of *Melaleuca* genus to global climate change. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v. 18, n. 1, p. 851–867, 2013.

TRAN, T. M. K. *et al.* Effects of drying on physical properties , phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (*Coffea canephora*). **Heliyon**, v. 6, n. 7, p. 1–7, 2020.

TZE, N. L. *et al.* Physicochemical and Nutritional Properties of Spray-dried Pitaya Fruit Powder as Natural Colorant. **Food Sci. Biotechnol**, v. 21, n. 3, p. 675–682, 2012.

VALADEZ-CARMONA, L. *et al.* Effects of microwaves, hot air and freeze-drying on the phenolic compounds, antioxidant capacity, enzyme activity and microstructure of cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 41, n. 1, p. 378–386, 2017.

VALLILO, M. I. *et al.* Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 241–244, 2005.

VALLILO, M. I. *et al.* Composição química dos frutos de *Campomanesia adamantium* (Cambessédes) O.Berg. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 4, p. 805–810, 2006.

VALLILO, M. I. *et al.* Composição química dos frutos de *Campomanesia xanthocarpa* Berg-Myrtaceae. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 231–237, 2008.

VIMERCATI, W. C. *et al.* Effect of temperature on drying kinetic in foam mat and anthocyanin degradation in strawberry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, n. 1, p. 1–12, 2019.

VULETIĆ, M. V. *et al.* Season, location and cultivar influence on bioactive compounds of sour cherry fruits. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 9, p. 389–395, 2017.

WAGHMARE, R. B. *et al.* Recent Developments in Freeze Drying of Foods. In: **Innovative Food Processing Technologies**. 3. ed. Amsterdã: Elsevier, 2021. p. 82–99.

WILSON, P. G. Myrtaceae. In: **The families and genera of vascular plants flowering plants. eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae**. X ed. Berlin: Springer, 2011. p.212-271.

WOJDY, A.; FIGIEL, A.; LECH, K. Effect of convective and vacuum – microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 1, p. 829–841, 2014.

WOJDYŁO, A.; FIGIEL, A.; OSZMIANŚKI, J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 1337–1343, 2009.

XU, K. *et al.* Grumixama (*Eugenia Brasiliensis* lam.) cultivated in the cerrado has high content of bioactive compounds and great antioxidant potential. **Ciencia Rural**, v. 50, n. 4, p. 1–7, 2020.

YILMAZ, Y.; TOLEDO, R. Antioxidant activity of water-soluble Maillard reaction products. **Food Chemistry**, v. 93, n. 1, p. 273–278, 2005.

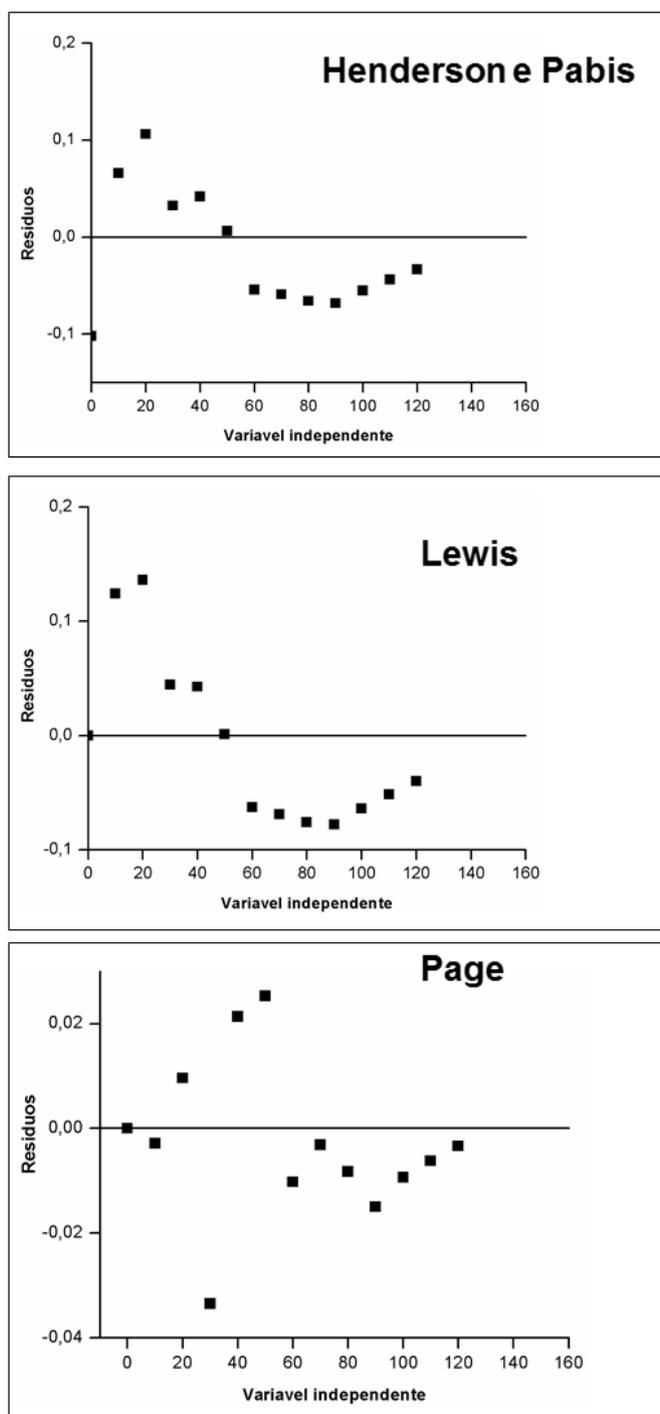
ZHANG, M. *et al.* Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1239–1255, 2017.

ZHU, Y. *et al.* Multiphase porous media model with thermo-hydro and mechanical bidirectional coupling for food convective drying. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 175, n. 1, p. 1–14, 2021.

ZOLA, F. G. *et al.* Mineral and centesimal contents, antioxidant activity and antimicrobial action of phenolic compounds from *Eugenia brasiliensis* lam. Pulp. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 378–385, 2019.

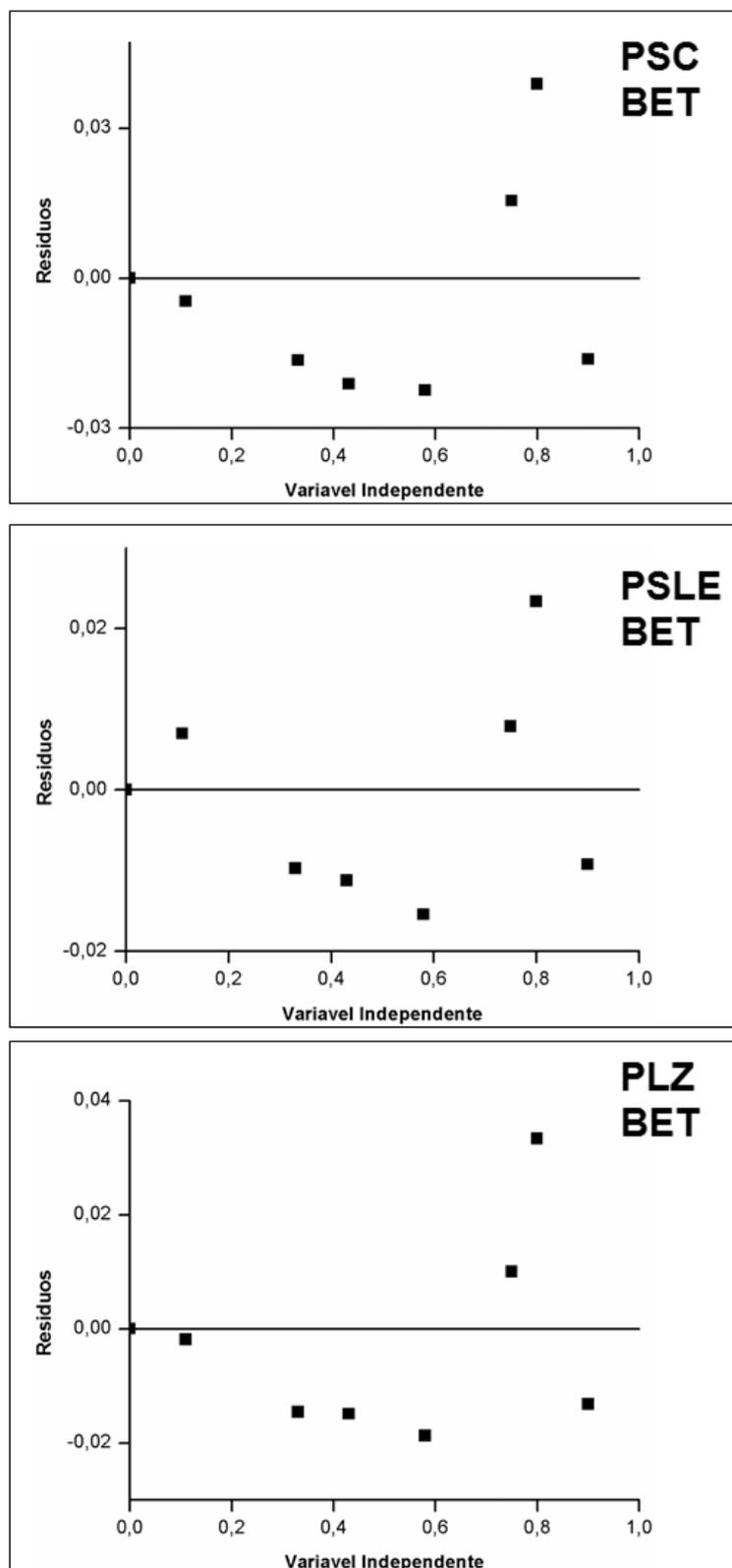
APÊNDICE A – Gráficos de resíduos dos modelos matemáticos das curvas cinéticas de secagem e isothermas de adsorção de umidade a 25 °C

Figura 1 – Gráficos dos resíduos dos modelos de Henderson e Pabis, Lewis e Page para a amostra PSC.



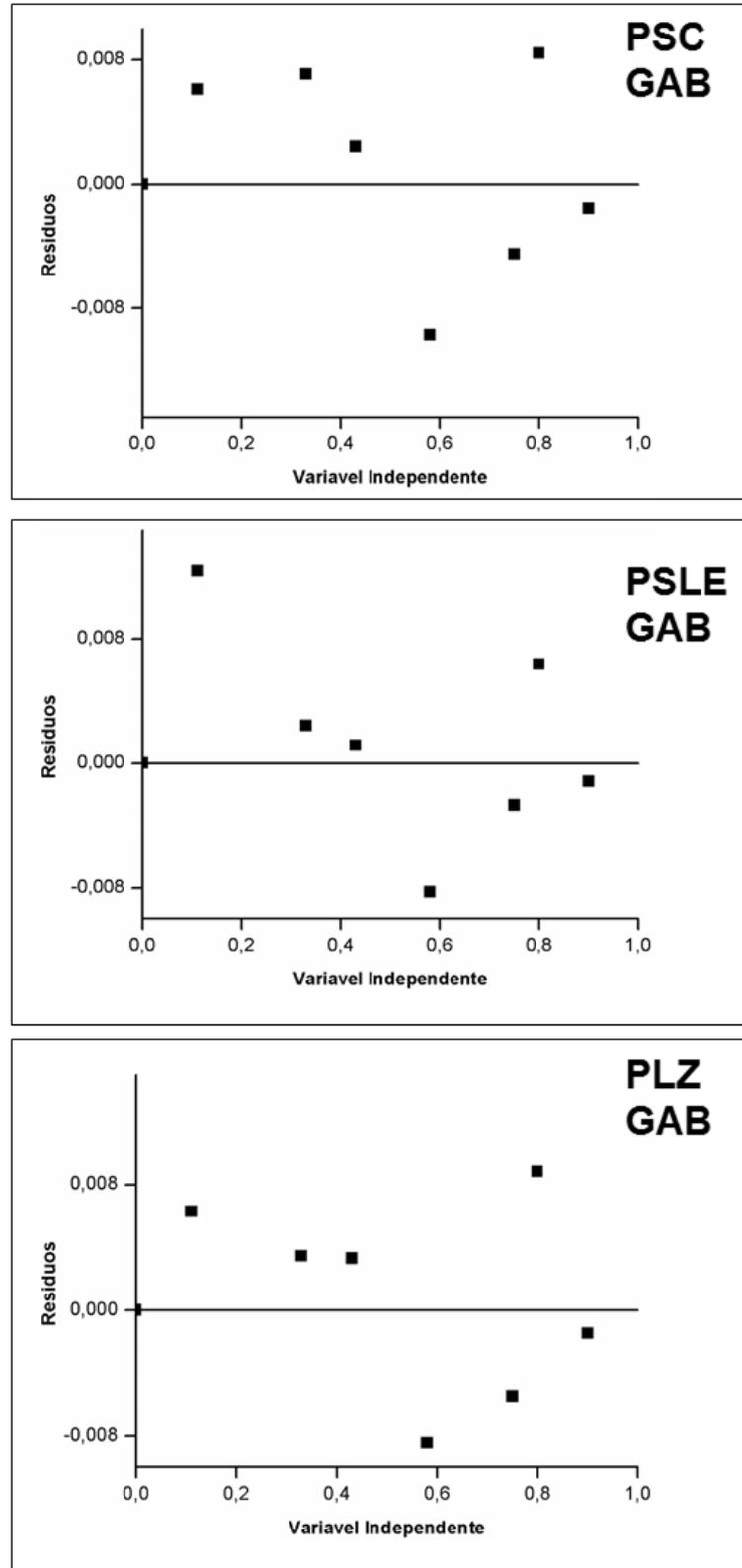
Fonte: Autora (2023).

Figura 2– Resíduos dos modelos de BET para as amostras PSC, PSLE e PLZ.



Fonte: Autora (2023).

Figura 3– Resíduos dos modelos de GAB para as amostras PSC, PSLE e PLZ.



Fonte: Autora (2023).