

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANDREZA GIRELLI

OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE *Butia* spp. PELO MÉTODO DE SECAGEM
POR CAMADA DE ESPUMA

ENCANTADO

2021



uergs

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

PPGCTA

Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos



ANDREZA GIRELLI

**OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE *Butia* spp. PELO MÉTODO DE SECAGEM
POR CAMADA DE ESPUMA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Encantado, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Manuela Poletto Klein

Coorientador: Prof. Dr. Voltaire Sant'Anna

ENCANTADO

2021

Catálogo de publicação na fonte (CIP)

G524o	Girelli, Andreza
	Obtenção do pó da polpa de <i>Butia spp.</i> pelo método de secagem por camada de espuma/ Andreza Girelli. – Encantado, 2021.
	91 f.
	Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Unidade em Encantado, 2021.
	Orientadora: Prof. ^a . Dra. Manuela Poletto Klein
	Coorientador: Prof. Dr. Voltaire Sant'Anna
	1. Albumina. 2. Cinética de Secagem. 3. Goma Xantana. 4. Dissertação. I. Klein, Manuela Poletto. II. Sant'Anna, Voltaire. III. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Unidade em Encantado, 2021. IV. Título.

ANDREZA GIRELLI

**OBTENÇÃO DO PÓ DA POLPA DE *Butia* spp. PELO MÉTODO DE SECAGEM
POR CAMADA DE ESPUMA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^a. Dra. Manuela Poletto Klein

Coorientador: Prof. Dr. Voltaire Sant'Anna

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dra. Manuela Poletto Klein
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Coorientador: Prof. Dr. Voltaire Sant'Anna
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof^a. Dra. Poliana Deyse Gurak
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA)

Prof^a. Dra. Carla Dettenborn de Cól
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins

Prof^a. Dra. Bruna Roos Costa
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof^a. Dra. Bruna Klein
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS
(Suplente)

Dedico ao meu pai (*in memoriam*) e à
minha mãe, exemplos de luta e
resignação, cada qual no seu momento.

E ao meu marido, pelo companheirismo e
por cada gesto de incentivo, carinho e
amor, que foram os pilares desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

À professora Manuela pela oportunidade de realizar este trabalho, por sua orientação, ensino, conselhos e carinho.

Ao professor Voltaire pelas orientações, contribuições e imensa disponibilidade.

Aos demais professores do Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelos ensinamentos e incentivo.

Aos funcionários da Unidade de Encantado pelo desvelo.

À Vitória, do laboratório de Análise de Alimentos da UERGS Encantado, pelo empenho, interesse e atenção.

Aos colegas, pela parceria, apoio e momentos de descontração.

Às professoras componentes da banca, pela disponibilidade em contribuir para a melhoria do meu trabalho.

Aos agricultores, que monitoravam o amadurecimento dos butiás.

À agroindústria Thomas pelas muitas horas de trabalho extra para produzir a polpa do butiá.

Aos familiares e amigos que torceram pelo meu projeto.

“A natureza pode suprir todas as necessidades do homem, menos a sua ganância”.

Mahatma Gandhi

RESUMO

O *Butia* spp. é o fruto de uma palmeira da família *Arecaceae* que ocorre naturalmente na América do Sul em vinte espécies diferentes. Em sua composição destacam-se compostos bioativos, como carotenoides, compostos fenólicos e vitamina C. A comercialização dos frutos tem estimulado pequenos empreendimentos, porém, a exploração econômica está muito abaixo do seu potencial industrial. As oito espécies de ocorrência no Rio Grande do Sul constam na lista de plantas em extinção e a valorização econômica dos butiazais pode contribuir para a preservação e implantação de novas áreas de cultivo. Neste estudo, desenvolveu-se um método de secagem por camada de espuma para a obtenção do pó da polpa de *Butia* spp. Avaliou-se a formação da espuma a partir de diferentes concentrações de albumina (2 % a 10 %), goma xantana (0 % a 0,5 %) e tempos de batimento (10 min a 20 min), utilizando análises de densidade e estabilidade para selecionar a condição otimizada. A secagem foi realizada em diferentes temperaturas (60 °C a 80 °C) e espessuras de camada de espuma (0,50 cm a 1,50 cm) e para a otimização da secagem, utilizou-se as análises de vitamina C e produtividade. A condição otimizada de secagem (80 °C e 0,50 cm) proporcionou ao pó da polpa de *Butia* spp. maior produtividade e teor de vitamina C, coloração um pouco mais clara do que a polpa, pH favorável para inibição de crescimento microbiano (3,25), teor de umidade e atividade de água capazes de garantir a estabilidade e segurança microbiológica (7,97 % e 0,206, respectivamente), capacidade de retenção de água compatível com a aplicação do pó em produtos de panificação (4,90 g H₂O /g de pó), boa solubilidade (74,40 %) e sólidos solúveis totais de 61 °Brix. As temperaturas mais elevadas e as menores espessuras de camada de espuma proporcionaram secagem mais rápida. Oito modelos matemáticos foram avaliados e o modelo de Page modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, podendo ser utilizado para representar a cinética de secagem da polpa de *Butia* spp. pelo método de camada de espuma.

Palavras-chave: *Butia* spp. Albumina. Goma xantana. Camada de espuma. Cinética de secagem.

ABSTRACT

Butia spp. is the fruit of a palm tree of the Arecaceae family that occurs naturally in South America in twenty different species. In its composition, bioactive compounds stand out, such as carotenoids, phenolic compounds, and vitamin C. The commercialization of the fruits has stimulated small entrepreneurs; however, the economic exploitation is far below its industrial potential. The eight species that occur in the Rio Grande do Sul are on the list of endangered plants, and the economic appreciation of *Butia* groves can contribute to the preservation and implementation of new cultivation areas. In this study, a foam layer drying method was developed to obtain the pulp powder of *Butia* spp. Foam formation was evaluated from different concentrations of albumin (2 % to 10 %), xanthan gum (0 % to 0.5 %), and beating times (10 min to 20 min), using density and stability analysis to select the optimized condition. Drying was performed at different temperatures (60 °C to 80 °C) and foam layer thicknesses (0.50 cm to 1.50 cm) and for the optimization of drying, vitamin C and productivity analyzes were used. The optimized drying condition (80 °C and 0.50 cm) provided the *Butia* spp. higher productivity and vitamin C content, slightly lighter color than the pulp, favorable pH to inhibit microbial growth (3.25), moisture content and water activity capable of ensuring microbiological stability and safety (7.97 % and 0.206, respectively), water holding capacity compatible with powder application baked goods (4.90 g H₂O /g powder), good solubility (74.40 %) and total soluble solids of 61 °Brix. Higher temperatures and smaller foam layer thicknesses provided the highest drying rates. Eight mathematical models were tested and the modified Page model was the one that best fit the experimental data and can be used to represent the drying kinetics of *Butia* spp. by the foam layer method.

Keywords: *Butia* spp. Albumin. Xanthan Gum. Foam layer. Drying kinetics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–	Distribuição geográfica das espécies de <i>Butia</i> spp. em relação às unidades de conservação do estado do Rio Grande do Sul.....	17
Figura 2 –	Butiazeiro da espécie <i>B. lallemantii</i>	18
Figura 3 –	Butiazeiros da espécie <i>B. odorata</i> da região do Pampa do RS.....	19
Figura 4 –	Frutos da espécie <i>B. odorata</i> com diferentes tonalidades.....	19
Figura 5 –	Relação entre o teor de umidade do alimento e tempo de secagem (A) e entre taxa de secagem e teor de umidade do alimento (B).....	32
Figura 6 –	Fluxograma do processo e análises realizadas em cada etapa.....	37
Figura 7	Fluxograma do processo em imagens.....	37
Figura 8 –	Aparato constituído de proveta, funil e papel filtro para análise da estabilidade da espuma.....	39
Figura 9 –	Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e de interação das variáveis testadas para a densidade da espuma. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 0,10$) é indicado por uma linha vertical.....	50
Figura 10 –	Superfície de resposta da densidade da espuma como função do tempo de batimento e da concentração de albumina (A) e como função do tempo de batimento e da concentração de goma xantana (B).....	52
Figura 11 –	Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e de interação das variáveis testadas para a estabilidade da espuma. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 0,10$) é indicado por uma linha vertical.....	54
Figura 12 –	Superfície de resposta da estabilidade da espuma como função da concentração de albumina e goma xantana.....	56
Figura 13 –	Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) ou de interação das variáveis testadas para a produtividade dos pós. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 10$) é indicado por uma linha vertical.....	58
Figura 14 –	Superfície de resposta da produtividade como função da temperatura de secagem e da espessura da camada de espuma.....	59

Figura 15 –	Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) ou de interação das variáveis testadas para o teor de vitamina C dos pós. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 10$) é indicado por uma linha vertical.....	60
Figura 16 –	Superfície de resposta do teor de vitamina C como função da temperatura de secagem e da espessura da camada de espuma.....	63
Figura 17 –	Curvas de secagem dos dados experimentais e curvas de tendência do modelo de Page modificado dos ensaios 1, 2, 3, 4, 7 e 8 (A) e dos ensaios 5, 6, 9, 10 e 11 (B).....	66
Figura 18 –	Superfície de resposta do parâmetro k , do modelo de Page modificado como função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e espessura da camada de espuma (cm).....	68
Figura 19–	Curvas de taxa de secagem de espuma de <i>Butia</i> spp. em diferentes temperaturas de secagem para mesmas espessuras de camada de espuma.....	69
Figura 20 –	Curvas de taxa de secagem de espuma de <i>Butia</i> spp. em diferentes espessuras de camada de espuma para mesmas temperaturas de secagem.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Ensaio, valores codificados e reais do experimento fatorial 2 ³ para formação de espuma.....	40
Tabela 2 –	Ensaio, valores codificados e reais do experimento fatorial 2 ² para a secagem em camada de espuma.....	42
Tabela 3 -	Modelos matemáticos avaliados para descrever a secagem da espuma da polpa de <i>Butia</i> spp.....	43
Tabela 4 –	Resultado de densidade (g/mL) e estabilidade (g) da espuma obtidos a partir de um experimento fatorial 2 ³ em função da concentração de goma xantana (% p/p) e albumina (% p/p) e do tempo de batimento (min).....	48
Tabela 5 –	ANOVA para o modelo quadrático da densidade da espuma da polpa de <i>Butia</i> spp.....	50
Tabela 6 –	ANOVA para o modelo quadrático da estabilidade da espuma da polpa de <i>Butia</i> spp.....	54
Tabela 7 –	Resultados obtidos no experimento fatorial 2 ² para secagem da polpa de <i>Butia</i> spp. pelo método de secagem por camada de espuma.....	57
Tabela 8 –	ANOVA para o modelo quadrático de produtividade do pó de <i>Butia</i> spp.....	58
Tabela 9 –	ANOVA para o modelo quadrático de vitamina C do pó de <i>Butia</i> spp.....	61
Tabela 10 –	Parâmetros de erro mínimo e máximo para ajustar dados experimentais a diferentes modelos na faixa de temperatura de 60 °C a 80 °C e de espessura de camada de espuma de 0,50 cm a 1,50 cm.....	64
Tabela 11 –	Valores dos parâmetros <i>k</i> e <i>n</i> dos modelos de Page e Page Modificado.....	65
Tabela 12 –	ANOVA para o parâmetro <i>k</i> do modelo de Page Modificado.....	67
Tabela 13 –	Valores de <i>L*</i> , <i>a*</i> , <i>b*</i> , cromat (C) e hue (H°) da polpa, da espuma e do pó de <i>Butia</i> spp.....	72
Tabela 14 –	Valores de pH da polpa, da espuma e do pó da polpa de <i>Butia</i> spp.....	73
Tabela 15 –	Valores de sólidos solúveis totais, expressos em °Brix, da polpa, da espuma e do pó da polpa de <i>Butia</i> spp.....	74

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	<i>Butia</i> spp.....	17
3.1.1	Composição nutricional dos frutos de <i>Butia</i> spp.....	21
3.2	ESPUMAS ALIMENTÍCIAS.....	22
3.2.1	Concentração proteica e estabilizantes em espumas alimentícias.	24
3.2.2	Proteínas.....	25
3.2.3	Goma xantana.....	27
3.3	SECAGEM DE ALIMENTOS.....	28
3.3.1	Secagem por camada de espuma.....	30
3.3.2	Cinética de secagem e modelagem matemática.....	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1	LOCAL DO EXPERIMENTO.....	36
4.2	MATÉRIA-PRIMA.....	36
4.3	FORMAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPUMA.....	38
4.3.1	Determinação da densidade.....	38
4.3.2	Determinação da estabilidade.....	38
4.4	OTIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DA ESPUMA.....	39
4.5	SECAGEM E OBTENÇÃO DO PÓ.....	41
4.6	OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM.....	41
4.6.1	Cinética de secagem e modelagem matemática	42
4.7	CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA POLPA DE <i>Butia</i> spp.....	44
4.7.1	Produtividade.....	44
4.7.2	Vitamina C.....	45
4.7.3	Umidade.....	45
4.7.4	Atividade de água.....	45
4.7.5	Cor.....	45
4.7.6	pH.....	46

4.7.7	Sólidos solúveis totais - Graus Brix.....	46
4.7.8	Solubilidade.....	46
4.7.9	Capacidade de retenção de água.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1	OTIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DA ESPUMA.....	48
5.1.1	Densidade.....	49
5.1.2	Estabilidade.....	53
5.1.3	Seleção da espuma.....	56
5.2	OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM.....	56
5.2.1	Produtividade.....	57
5.2.2	Vitamina C.....	60
5.2.3	Seleção da condição de secagem.....	63
5.3	CINÉTICA DE SECAGEM.....	63
5.4	CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA POLPA DE <i>Butia</i> spp.....	70
5.4.1	Cor.....	71
5.4.2	pH.....	72
5.4.3	Sólidos solúveis totais (°Brix).....	73
5.4.4	Umidade e atividade de água.....	74
5.4.5	Capacidade de retenção de água.....	75
5.4.6	Solubilidade.....	76
6	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

O *Butia* spp. é o fruto de uma palmeira do gênero *Butia*, pertencente à família *Arecaceae*, que ocorre naturalmente na América do Sul em vinte espécies diferentes, dezenove delas são encontradas no Brasil e oito no estado do Rio Grande do Sul (ESLABÃO *et al.*, 2016). Todas as espécies de ocorrência no Rio Grande do Sul constam na lista de plantas nativas ameaçadas de extinção (RIO GRANDE DO SUL, 2014). A valorização econômica dos frutos desta palmeira pode contribuir para a preservação das áreas de butiazais e na implementação de novas áreas (TONIETTO; SCHLINDWEIN; TONIETTO, 2009).

A maturação dos frutos ocorre entre os meses de novembro e maio e o seu consumo é basicamente *in natura* ou utilizado no preparo de sucos, licores e sorvetes (SGANZERLA, 2010). A comercialização dos frutos frescos ou processados representa importante fonte de renda para muitas famílias e tem estimulado pequenos empreendimentos (RIVAS; BARBIERI, 2018), porém, a exploração econômica está muito abaixo do seu potencial industrial (TONIETTO; SCHLINDWEIN; TONIETTO, 2009).

As frutas nativas têm despertado o interesse de consumidores que buscam na alimentação uma forma de melhorar a saúde e os frutos de *Butia* spp. se destacam pelo teor de compostos bioativos com capacidade antioxidante, como carotenoides, compostos fenólicos e vitamina C, além de apresentar elevados teores de potássio, cálcio, manganês e ferro (FONSECA, 2012).

O processamento dos alimentos pode acarretar perdas no valor nutricional (CELESTINO, 2010) e alguns estudos já foram realizados para avaliar a estabilidade dos compostos bioativos dos frutos de *Butia* spp. após processamento e armazenamento, tais como geleias (SILVA, *et al.*, 2013; FONSECA, 2012; KRUMREICHI *et al.*, 2010;), polpa congelada e néctar (HOFFMANN *et al.*, 2017).

Os frutos do *Butia* spp. são altamente perecíveis e uma das formas para manter o produto disponível ao longo de todo o ano é a pasteurização e congelamento da polpa (HOFFMANN *et al.*, 2017). Outra forma possível é a secagem de alimentos, que é um método de conservação que permite o armazenamento em temperatura ambiente e reduz a quantidade de embalagens e de espaço físico para o armazenamento e transporte (CELESTINO, 2010).

Existem diversos métodos e equipamentos que podem ser utilizados para a secagem de alimentos, dentre eles: a secagem por ar quente, por contato direto com uma superfície aquecida, por radiação, *spray drying* e liofilização (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2007). A escolha do método a ser utilizado depende das características da matéria-prima e do produto que se deseja obter (SILVA, 2000).

A secagem por camada de espuma é um processo de tecnologia simples e acessível, com menor custo de processo e equipamentos quando comparado a outros métodos (DE CÓL, 2021; ABD EL-SALAM, ALI, HAMMAD, 2021), indicado para produtos sensíveis, por possibilitar o uso de temperaturas mais baixas e apresentar tempo de secagem reduzido (HERTZENDORF; MOSHY; SELTZER, 1970). Neste processo, os alimentos líquidos ou semilíquidos são transformados em espumas estáveis que são submetidas a secagem, geralmente usando ar quente (RATTI; KUDRA, 2006). Para a formação da espuma são adicionados agentes espumantes e estabilizantes e o ar é incorporado por meio de batidura (ARAUJO *et al.*, 2017; BRAR, 2018; CRUZ, 2013; FELLOWS, 2019). A estrutura da espuma favorece a migração da água do interior do alimento para a superfície e amplia a área de contato com o ar reduzindo o tempo de secagem, o que contribui para a preservação dos nutrientes do alimento e reduz o gasto energético necessário para o processo (HARDY; JIDEANI, 2017; NG; SULAIMAN, 2018; RATTI; KUDRA, 2006)

Diante da necessidade de valorizar economicamente os butiazais, do valor nutritivo dos frutos e da escassez de informações sobre o seu processamento, este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um processo de secagem pelo método de camada de espuma para a obtenção do pó da polpa de *Butia* spp. Além disso, avaliou-se as características físico-químicas, vitamina C, produtividade, propriedades tecnológicas de solubilidade e capacidade de retenção de água do pó e diferentes modelos matemáticos foram ajustados aos dados das curvas de cinética de secagem.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é a obtenção do pó da polpa de *Butia* spp. pelo método de secagem por camada de espuma.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo do trabalho, seguem os objetivos específicos da pesquisa:

- Definir as condições ótimas para a formação e secagem da espuma da polpa de *Butia* spp.
- Ajustar e avaliar modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem da polpa de *Butia* spp. pelo método de secagem por camada de espuma.
- Determinar as características físico-químicas, produtividade, vitamina C e propriedades tecnológicas de solubilidade e capacidade de retenção de água do pó da polpa de *Butia* spp.

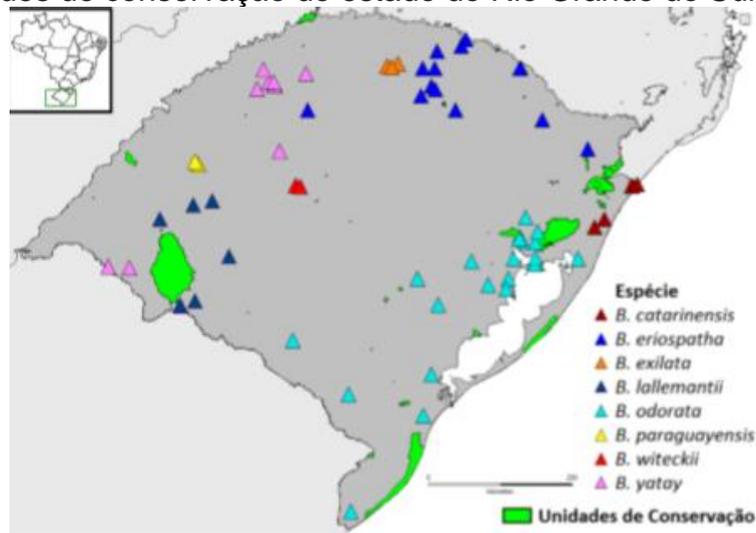
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Butia* spp.

Da família *Aricaceae*, o gênero *Butia* ocorre naturalmente na América do Sul em vinte espécies diferentes. Destas, dezenove espécies são encontradas no território brasileiro, sendo a exceção o *Butia marmorii* (ESLABÃO *et al.*, 2016).

O Rio Grande do Sul é o estado brasileiro com o maior número de espécies, oito no total, espalhadas por diferentes regiões (figura 1), seguido por Mato Grosso do Sul, com sete. Os demais estados onde ocorre o gênero *Butia* são: Bahia, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, São Paulo e o Distrito Federal, e possuem entre uma e quatro espécies (ESLABÃO *et al.*, 2016). As espécies de ocorrência no Rio Grande do Sul são: *Butia catarinenses*, *Butia eriospatha*, *Butia exilata*, *Butia lallemantii*, *Butia odorata*, *Butia paraguayensis*, *Butia witeckii* e *Butia yatay* (ELLERT-PEREIRA *et al.*, 2015; SOARES, 2013). Todas estas espécies constam na lista das plantas nativas ameaçadas de extinção (RIO GRANDE DO SUL, 2014).

Figura 1 - Distribuição geográfica das espécies de *Butia* spp. em relação às unidades de conservação do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Ellert-Pereira *et al.* (2015)

O número de espécies de *Butia* reconhecidas por diferentes autores varia muito e parâmetros cada vez mais numerosos e detalhados são utilizados para a classificação taxonômica (SOARES, 2013).

O gênero *Butia* tem como característica o tronco que permanece bastante tempo coberto pela base das folhas que caem. Depois que esta base apodrece deixa o tronco áspero e marcado por cicatrizes. As folhas têm um pecíolo muito dilatado e uma base grosseira que abraça uma pequena parte do tronco. Os segmentos foliares são alongados e estreitos. Os frutos são globosos, ovais ou ovais cônicos com até três sementes (BECCARI, 1916).

A planta de *Butia* spp. é conhecida como butiazeiro e há diferenças entre as espécies, como entre o *B. lallemantii* (figura 2), também conhecido pelo nome popular de butiá anão, que possui caule subterrâneo de 30 cm a 50 cm de comprimento, copa globosa em formato de touceira, medindo entre 2,5 m e 3 m de diâmetro, composta por folhas pinadas medindo em média 1,30 m (FARACO; BARBIERI; ALVES, 2019), e o *B. odorata* (figura 3), cujas plantas podem chegar a 12 m de altura e 60 cm de diâmetro de caule, com folhas verde-acinzentado medindo de 2 m a 3 m e cachos de flores com mais de 1 m de comprimento (RIVAS; BARBIERI, 2014).

Figura 2 – Butiazeiro da espécie *B. lallemantii*.



Fonte: Giehl (2021)

Figura 3 – Butiazeiros da espécie *B. odorata* da região do Pampa do RS.



Fonte: Rivas; Barbieri (2014)

Os frutos do gênero *Butia* spp. (figura 4), conhecidos por “butiás” podem ser amarelos, alaranjados, vermelhos, arroxeados, purpúreos, verde amarelados ou esverdeados, com formato alongado, ovoide, globosos ou cônico e possuem tamanhos diversos com dimensões entre 1,4-2,2 cm x 1,2-2,6 cm para o *B. catarinenses* e 3,5-6,2 cm x 3,0-4,7 cm para o *B. witeckii* (SOARES, 2013).

Figura 4 – Frutos da espécie *B. odorata* com diferentes tonalidades.



Fonte: Rivas; Barbieri (2014)

O rendimento médio de frutos por planta de *Butia* spp. é bastante variável, tanto entre espécies, bem como entre plantas de uma mesma população. Butiazeiros da espécie *B. capitata* apresentaram rendimento médio de 56 kg de frutos por planta na região de Santa Vitória do Palmar/RS (SCHWARTZ *et al.*, 2010) e de 36,9 kg e 5,3 kg nos butiazais de Castillos e San Luis, respectivamente, localizados na região de Rocha, no Uruguai (RIVAS; BARILANI, 2004). Plantas da espécie *B. odorata* localizadas nos municípios de Tapes/RS, Barra do Ribeiro/RS e Arambaré/RS tiveram rendimento médio de frutos por planta de 19,5 kg, 10,8 kg e 10,1 kg respectivamente (SCHLINDWEIN *et al.*, 2017).

O rendimento de polpa do *B. capitata* de Montes Claros/MG foi de 67,33 % com despolda manual (BRAGANÇA, 2017) e o *B. yatai* teve rendimento de polpa de 71,9 % quando despoldado manualmente e de 36,5 % em despoldadeira (MARTINS *et al.*, 2019).

A produtividade dos butiazeiros tem relação com as condições do solo, habitat e manejo. Solos férteis com disponibilidade de nutrientes aumentam a produtividade, enquanto solos pobres, planícies arenosas e com altos teores de sódio apresentam produtividade menor (SCHLINDWEIN *et al.*, 2017). A idade das plantas também pode ser um fator para a diferença de produtividade (SCHWARTZ *et al.*, 2010). *Butia* spp. é uma espécie de polinização cruzada e, portanto, um alto grau de variação genética é esperada para morfologia, fenologia e características físico-químicas (BESKOW *et al.*, 2015).

O conjunto de uma população de butiazeiros com um estrato herbáceo forma os butiazais, que podem chegar a 600 palmeiras por hectare, estando os maiores do Rio Grande do Sul situados nos municípios de Tapes, Barra do Ribeiro, Palmares do Sul, Barão do Triunfo e Santa Vitória do Palmar (RIVAS; BARBIERI, 2018). Os butiazais são importante recurso floral para a entomofauna, inclusive para diversas espécies de abelhas, como as abelhas melíferas africanizadas e abelhas nativas sem ferrão (WOLFF; WEGNER; HEIDEN, 2016).

As áreas de butiazais sofrem pressão da agricultura, da pecuária e da urbanização, que competem pela utilização das terras (MISTURA, 2013). A pecuária tem coexistido com os butiazais, mas apresenta efeito negativo na regeneração pela supressão das pequenas plantas, restando apenas indivíduos adultos. Por outro lado, a pecuária inibe a formação de florestas nas áreas de butiazais, e este fator é positivo,

pois os butiazeiros não se desenvolvem em áreas muito sombreadas (PACHECO; MELLO, 2019).

Dos butiazeiros são aproveitados os frutos, as folhas e a planta como um todo, pelo seu potencial paisagístico. Os frutos, além de serem apreciados *in natura*, também são utilizados na produção de sucos, geleias, *mousses*, bombons, bolos, sorvetes, licores e infusões com aguardente (FONSECA, 2012, MISTURA 2013, RIVAS; BARBIERI, 2014). O aproveitamento comercial dos frutos de diferentes espécies de *Butia* spp. vem crescendo e sendo aprimoradas em diversas regiões do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com destaque para o processamento e comercialização na forma de sucos, polpa congelada e sorvetes (KÖHLER; BRACK, 2016).

3.1.1 Composição nutricional dos frutos de *Butia* spp.

A população tem procurado na alimentação saudável uma forma de promoção da saúde, gerando demanda por alimentos mais nutritivos (CRUZ, 2013). Entre os alimentos nutritivos, os frutos de *Butia* spp. se destacam pela sua composição nutricional, principalmente por conter altos teores de potássio, cálcio, manganês e ferro (FONSECA, 2012), além de polifenóis, vitamina C e carotenoides, que lhes conferem capacidade antioxidante. (RIVAS; BARBIERI, 2014; FONSECA, 2012; CROSA *et al.*, 2014).

De acordo com Franco (1999), 100 g de *Butia* spp. possuem, em média, 11,40 g de carboidratos, 1,80 g de proteína, 1,50 g de lipídeos, 23 mg de cálcio, 24 mg de fósforo e 33 mg de vitamina C.

Em estudo sobre o rendimento e o potencial bioativo de frutos de *B. odorata* colhidos na cidade de Pelotas/RS foram identificados entre 280,50-398,50 mg/100 g de conteúdo de fenólico, entre 2,80-4,08 mg/100 g de carotenoides e entre 34,63 - 63,84 mg/100 g de ácido L-ascórbico (BESKOW *et al.*, 2015).

As diferenças na composição dos frutos podem estar relacionadas com a localização geográfica, tipo de solo e de clima, insolação, variação de temperatura, adubação, idade da planta, maturação e quantidade de água presente nos frutos (DAL MAGRO *et al.*, 2006).

Os frutos de *Butia* spp. apresentam conteúdo significativo de vitamina C, também conhecida como ácido L-ascórbico. A concentração de vitamina C é mais

estável nas frutas, devido à acidez, do que nos vegetais e o seu teor é afetado pelas condições de crescimento, maturação e tratamentos pós-colheita dos produtos. Esta vitamina possui funções importantes em diversos sistemas biológicos do organismo, como a influência que exerce na hemoglobina, na absorção e armazenamento de ferro, na síntese do hormônio da tireoide, prevenção e cura do escorbuto, na cicatrização de ferimentos, fraturas, contusões, hemorragias e sangramentos da gengiva (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Conforme observado em estudo sobre a caracterização físico-química de frutos nativos da região sul do Brasil, por meio do método espectrofotométrico, os frutos de *B. capitata* apresentam 44,97 mg/100 g de ácido ascórbico no fruto fresco, mesmo valor encontrado para o açaí juçara (*Euterpe edulis*) (SOUZA *et al.*, 2018).

A vitamina C é sensível a condições de processamento e armazenamento e sua degradação está relacionada a fatores como oxigênio, pH, luz, temperatura, umidade e presença de catalisadores metálicos e enzimas (ZANONI *et al.*, 1998; LAVARDA, 2011). É uma das vitaminas mais sensíveis ao aquecimento, podendo ser totalmente destruída durante o processo de secagem (SILVA *et al.*, 2008) e, por isso, muitas vezes é utilizada como indicador de perda de outros nutrientes (CRUZ, 2013).

Martins *et al.* (2019) analisaram a variação da vitamina C na polpa congelada de *B. yatai* durante o armazenamento e observaram uma redução de 44,6 % no teor do nutriente em 3 meses de estocagem. A redução da vitamina C em relação ao mês anterior foi 26,0 %, 18,7 % e 8,0 % e os autores estimam que 1/3 do teor inicial desta vitamina permanece no produto após um ano de estocagem.

Hoffmann *et al.* (2017) observaram que a pasteurização a 100 °C por 15 min influenciou o conteúdo de diversos compostos bioativos da polpa de *B. odorata* colhidos no município de Capão do Leão/RS, havendo redução de 5 % em fenólicos total, 10 % em flavonoides e carotenoides e 17 % em vitamina C. A polpa pasteurizada armazenada sob congelamento a -18 °C por 12 meses apresentou redução de 33 % no teor de vitamina C.

3.2 ESPUMAS ALIMENTÍCIAS

As espumas são constituídas de duas fases, uma contínua aquosa e uma dispersa gasosa. A formação de espuma ocorre pela desnaturação parcial da proteína por agitação ou batimento que no rearranjo das moléculas incorpora gás e o mantém

retido por meio de uma película fina e resistente. A formação de espuma aumenta conforme aumenta a concentração de proteína, até que um limite máximo seja atingido (DAMODARAM, 2019).

A interface onde as fases de água e ar se encontram são instáveis, pois o ar é hidrofóbico. A desnaturação das proteínas pelo cisalhamento expõe a parte hidrofílica das proteínas que migram para a interface entrando em contato com o ar, reduzindo a energia do sistema e tornando a espuma mais estável (BRYKSA; YADA, 2015).

As espumas alimentícias estão presentes em diversos alimentos como bolos, sorvetes e *marshmallow* (FELLOWS, 2019). O processo de obtenção da espuma é importante para conseguir as qualidades desejáveis no produto final e depende da seleção de agentes espumantes e estabilizantes apropriados e das propriedades de densidade e estabilidade da espuma (BRAR, 2018; SOARES, 2009).

A redução da densidade das espumas ocorre pela incorporação de ar no líquido, que aumenta o seu volume em comparação com a mesma medida de massa e a estabilidade das espumas formadas necessita de fatores como baixa tensão superficial, gelificação ou insolubilização da película das bolhas e baixa pressão de vapor nas bolhas, podendo ser obtida por congelamento, gelificação, aquecimento e por adição de estabilizantes, como proteínas e gomas (FELLOWS, 2019).

A composição do alimento, o tipo e a concentração do agente espumante e do estabilizante são variáveis que influenciam a formação e estabilidade da espuma (KARIM; WAI, 1999). Quanto a composição do alimento, concentrações maiores do que 0,5 % de lipídeos, principalmente fosfolipídeos, interferem negativamente na formação de espuma, isso ocorre por eles serem mais ativos na superfície do que as proteínas e assim se adsorvem antes na interface ar-água, no entanto, como não possuem propriedades coesivas e viscoelásticas suficientes para suportar a pressão interna das bolhas, elas sofrem colapso durante o batimento (DAMODARAM, 2019). Kamath *et al.* (2008) relataram que a gordura presente no leite integral afetou a formação e a estabilidade das espumas. As espumas produzidas a partir de leite integral e desnatado apresentaram diferenças na aparência e na distribuição do tamanho da bolha e as espumas de leite integral apresentaram maiores taxas de ruptura das bolhas.

O pH também tem influência na produção das espumas. Espumas no pH isoelétrico (pI) da proteína são mais estáveis do que em qualquer outro pH. No pI não ocorrem interações repulsivas favorecendo as interações proteína-proteína e a

formação de uma película viscosa na superfície, além de aumentar a quantidade de proteína adsorvida à interface. Em pH diferente do pI , a espumabilidade geralmente é boa, porém a estabilidade é menor. As proteínas da clara do ovo têm boa espumabilidade em pH de 8 a 9 e em seu pH isoelétrico de 4 a 5 (DAMODARAM, 2019). Nakamura e Sato (1964) observaram que o ajuste do pH da clara de ovo líquida para neutro ou ácido resultou em maior propriedade de formação de espuma, exceto em pH excessivamente ácido – pH 1,0. Mleko *et al.* (2007) pesquisaram as propriedades reológicas de espumas feitas de proteínas de albumina de ovo após desdobramento induzido por pH 1,5, 2,5, 11,5 e 12,5 e tratamentos de redobramento em pH 4,5 e 8,5 e verificaram que o desdobramento da albumina do ovo em pH baixo ou alto seguido de redobramento leva a um aumento substancial na firmeza da espuma.

3.2.1 Concentração proteica e estabilizantes em espumas alimentícias

A concentração proteica influencia em dois parâmetros importantes das espumas alimentícias: formação e estabilidade. A formação da espuma atinge um máximo em determinada concentração de proteína, sendo que a maioria das proteínas apresenta espumabilidade máxima na concentração de 2 % a 8 %. Em relação à estabilidade, quanto maior a concentração de proteína, maior a estabilidade da espuma, por conta da alta viscosidade que facilita a formação de uma película coesa na interface (DAMODARAM; 2019).

Para o processo de secagem por camada de espuma a densidade adequada fica entre $0,3 \text{ g/cm}^3$ e $0,6 \text{ g/cm}^3$ (RATTI; KUNDRA, 2006). Os agentes espumantes mais comumente usados são albumina de ovo, proteína de soro de leite, proteína de soja e gelatina (BRAR, 2018).

Durante o processo de secagem, a estabilidade da espuma é tão importante quanto a densidade (GURGEL, 2014; SANGAMITHRA *et al.*, 2014). A estabilidade consiste na capacidade de uma espuma formada reter seu volume máximo ao longo do tempo e, geralmente, é determinada medindo a taxa de vazamento de fluido da espuma (KINSELLA; MELACHOURIS, 1976). Os estabilizantes mais utilizados são carboximetilcelulose, goma xantana, goma arábica e alginato de propileno glicol (BRAR, 2018).

Na produção de pó de abacaxi pelo método de secagem por camada de espuma, o aumento da concentração de albumina de 5 % para 20 % ampliou a capacidade de formação de espuma e reduziu a densidade (SHAARI *et al.*, 2018). Resultados semelhantes foram relatados por Rajkumar *et al.* (2007) que observaram redução da densidade e aumento da estabilidade da espuma produzida a partir da polpa de manga com o acréscimo de albumina de 5 % para 15 %. Neste caso, os resultados foram mais expressivos quando a concentração de albumina aumentou de 5 % para 10 %, apresentando efeito menos pronunciado quando passou para 15 %, e este efeito foi atribuído ao ponto de saturação da solubilidade da albumina do ovo.

No trabalho de Germano (2016) observou-se que a expansão da espuma de banana verde foi maior quando o percentual de albumina aumentou de 2,5 % para 5 % e diminuiu quando passou para 10 % e o resultado foi explicado pelo elevado teor de amido da banana verde. Feitosa *et al.* (2017) usou o emulsificante Emustab® (água e emulsificantes: monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, sal de ácidos graxos, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana) e estabilizante Super Liga Neutra® (açúcar e espessantes: goma guar, carboximetilcelulose e goma tara) na produção de espuma de murta para secagem por camada de espuma e verificou que a maior quantidade de emulsificante diminuiu a densidade da espuma, enquanto maior quantidade de estabilizante aumentou sua densidade.

3.2.2 Proteínas

Nutricionalmente, são considerados fonte “completa” de proteínas os alimentos que contém valores adequados dos nove aminoácidos essenciais, dos quais fazem parte alimentos de origem animal como os ovos, carnes e leite e alimentos de origem vegetal como as leguminosas, sementes, nozes e grãos. Os maiores valores de PDCAAS (*Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score*) são alcançados pela albumina do ovo, proteína isolada de soja e alguns produtos lácteos (FELLOWS, 2019).

As propriedades funcionais das proteínas que determinam a formação de espuma dependem da composição e das ligações dos aminoácidos e incluem propriedades de hidratação, de interação entre proteína e proteína e de superfície (WINCK, 2016). As interações entre a água e as proteínas estão associadas às

propriedades de hidratação, como a absorção e retenção de água, molhabilidade, formação de gel, adesividade, dispersibilidade, solubilidade e viscosidade. As interações proteínas-proteínas estão relacionadas com a formação de gel, coagulação e formação de estruturas como fibras e glúten. As propriedades de superfície são pertinentes à emulsificação, formação de espumas e formação de películas. No entanto, estas propriedades não são totalmente independentes uma das outras, como a formação de gel que envolve interações do tipo proteína-proteína e água-proteína, mas todas as propriedades funcionais estão relacionadas com as frações hidrofílicas e hidrofóbicas das proteínas (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

As diferenças nas propriedades das proteínas na superfície são atribuídas à sua conformação. Não há uma cabeça hidrofílica e uma cauda hidrofóbica bem definida, os grupos hidrofóbicos e hidrofílicos estão disseminados de modo aleatório na estrutura primária das proteínas e na conformação terciária dobrada sendo que a rigidez estrutural da molécula limita a adsorção e a orientação e apenas uma pequena porção é ancorada na interface. Desta forma, a capacidade que a proteína tem de sofrer rápida mudança conformacional é determinante para a sua atuação como surfactante (DAMODARAM, 2019). Durante o batimento, ações importantes acontecem com a proteína para que ocorra a formação de espuma. A proteína é parcialmente desnaturada e se reorganiza dispondo a fração hidrofílica em direção à água e a fração hidrofóbica em direção ao ar e por meio das interações intermoleculares forma um filme viscoelástico coeso que incorpora o ar, promovendo a expansão da solução (LOMAKINA; MIKOVA, 2006).

Umas das proteínas mais utilizadas na indústria de alimentos é a clara do ovo, devido as suas muitas funcionalidades como agente espumante (RAIKOS; CAMPBELL; STEPHEN, 2007). Umas das razões que conferem à clara de ovo uma qualidade superior como agente de formação de espuma é o conteúdo de 10% de proteína na sua composição (VLIET; WALSTRA, 2019). A clara de ovo é constituída por um sistema complexo contendo mais de 40 tipos de proteínas que agem como emulsificantes anfílicos entre a fase gasosa e a fase aquosa estabilizando a espuma (MLEKO et al., 2006), além disso, as espumas de albumina apresentam estabilidade ao calor (MINE, 1995).

3.2.3 Goma xantana

A goma xantana é um biopolímero pseudoplástico, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. Mesmo em baixas concentrações, confere alta viscosidade que praticamente não se altera com a temperatura entre 4 °C e 93 °C, com pH entre 1 e 13 e com forças iônicas equivalentes a concentrações de cloreto de sódio entre 0,05 % e 1 % (FILHO, 2001).

A goma xantana é um aditivo utilizado na área de processamento de alimentos com funções de espessante, estabilizante, emulsificante e agente espumante. É produzida pela bactéria *Xanthomonas campestris*, sendo recuperada do caldo de fermentação por precipitação com etanol ou isopropanol. A goma xantana é solúvel em água e insolúvel em etanol (FAO/WHO, 2016).

Gomas polissacarídeas, como a goma xantana, são utilizadas em baixas concentrações, entre 0,25 % e 1 %, com a finalidade de espessar soluções aquosas, formar géis, modificar e controlar as propriedades de alimentos líquidos, permitindo a dispersão e suspensão de outros ingredientes ou modificar a textura de alimentos semissólidos (FELLOWS, 2019).

O uso do aditivo goma xantana é autorizado para diversos produtos, como na produção de geleias (BRASIL, 2007a), molhos e condimentos (BRASIL, 2007b), queijos *petit suisse* (BRASIL, 2011a), cerveja (BRASIL, 2011b) e produtos cárneos (BRASIL, 2019) em quantidades que variam de 0,1 g/100 g a 0,3 g/100 g e *quantum satis*.

A estabilidade da goma xantana em ampla faixa de pH é interessante para sua aplicação em alimentos ácidos como molhos de saladas e produtos de frutas. Em produtos de panificação, a adição de goma xantana melhora a coesão dos grânulos de amido, contribui para a estrutura e aumenta a vida útil devido à retenção de umidade. A goma xantana também é utilizada para melhorar a aparência geral e as características sensoriais de alimentos produzidos com redução ou eliminação de óleo na composição pela sua habilidade de ligação com a água, como para conferir umidade em muffins com baixo teor de gordura e aumentar a viscosidade da fase aquosa e estabilizar o sistema em molho de salada com baixo teor de óleo (KATZBAUER, 1998).

A goma xantana vem sendo utilizada em estudos sobre secagem pelo método de camada de espuma. Susanti *et al.* (2021) pesquisaram os efeitos da adição de

goma xantana nas propriedades da espuma e na cinética de secagem no encapsulamento de extrato de sorgo vermelho e verificaram que o aumento de goma xantana de 0,125 % para 0,5 % diminuiu a densidade e aumentou a estabilidade das espumas. Abd El-Salam, Ali e Hammad (2021), em estudo sobre a secagem por camada de espuma da polpa de mamão, relataram que o acréscimo de goma xantana de 0,1 % para 0,3 % apresentou aumento na expansão de espuma e que de 0,3 % para 0,5 % a expansão ocorreu, mas de forma menos expressiva, não sendo significativa ($p < 0,05$).

3.3 SECAGEM DE ALIMENTOS

A secagem de alimentos é um dos métodos de conservação mais antigo empregado pelo homem e consiste na extração da água dos alimentos (EVANGELISTA, 2008). O efeito de conservação acontece pela redução da atividade de água, que inibe o crescimento de microrganismos, a atividade de algumas enzimas e determinadas reações químicas, abrandando as alterações nos alimentos e aumentando a vida de prateleira (ORDÓÑEZ, 2005).

Além da conservação, a secagem confere outras vantagens, como redução de custos de transporte e armazenamento pelo menor peso e volume dos produtos e preservação do valor nutritivo dos alimentos, que apesar das possíveis perdas, ficam concentrados pela redução da água (CELESTINO, 2010).

A extração da água dos alimentos envolve a transferência de calor e massa, sendo necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do produto e um meio de transporte para remover o vapor de água formado na superfície (MELONI, 2003). A velocidade com que a transferência de calor e massa acontecem, denominada taxa de secagem, é influenciada pelas condições de processamento, natureza do alimento e *design* de secadores. Com relação às condições de processamento, os principais fatores são a quantidade de vapor d'água presente no ar, a temperatura do ar e a quantidade de ar que passa pelo alimento. Com relação à natureza do alimento, destacam-se a composição, a estrutura e o tamanho dos pedaços (FELLOWS, 2019).

A velocidade com que o alimento perde água não é a mesma durante todo o processo de secagem. No início da secagem o alimento perde umidade pela superfície e gradualmente uma camada seca vai se formando e impondo resistência para o calor

adentrar no produto, além disso, a umidade do interior tem um caminho mais longo para percorrer do que a umidade que estava próxima a superfície, por estas razões, a velocidade inicial é maior e constante e depois reduz e decresce até que cair a zero, atingido a umidade de equilíbrio (MELONI, 2003).

A secagem pode ser natural ou artificial. A secagem natural, consiste na exposição direta dos produtos ao sol ou na utilização de equipamentos que absorvem a radiação solar. Apesar do baixo custo, as condições de processamento são difíceis de controlar, pois são dependentes de fatores climáticos como temperaturas entre 35 °C e 40 °C, boa taxa de radiação, baixa umidade relativa do ar e baixo índice de poluição (CELESTINO, 2010).

A secagem artificial se caracteriza pela utilização de equipamentos com diferentes configurações e acessórios que aumentam a velocidade do processo (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2007). Na secagem artificial, a provisão de calor para a remoção da umidade pode acontecer por aquecimento do material ou por aquecimento do ar. O aquecimento do material pode ser por meio da transmissão de calor por contato direto, por radiação infravermelha ou por micro-ondas (COSTA, 2007). Dentre os equipamentos por transmissão direta de calor estão os secadores de tambor constituídos por tambores rotativos aquecidos internamente por vapor, onde o produto úmido é depositado em uma película fina na superfície externa (GAVA, 2002) e os secadores à vácuo em que o alimento é espalhado sobre uma esteira de aço que passa sobre tambores ociosos dentro de uma câmara de vácuo (FELLOWS, 2019).

A secagem por aquecimento do ar pode ser com circulação natural ou forçada de ar, em fluxo paralelo, contracorrente, misto ou de corrente cruzada e de ciclo intermitente ou contínuo (COSTA, 2007). Alguns exemplos de secadores que utilizam ar quente são os secadores de cabine, providos de telas ou bandejas onde o alimento é disposto em camadas, os secadores de túnel, em que o produto entra por um extremidade, recebe ar quente e sai seco pela outra extremidade, os secadores de leite fluidizado onde o produto é colocado sobre uma esteira perfurada que recebe o ar quente pela parte inferior e o *spray drying*, que consiste na pulverização de um líquido em um compartimento que recebe ar quente (GAVA, 2002).

A liofilização é um sistema distinto de secagem onde a água contida no produto é previamente congelada e passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso (GAVA, 2002). Geralmente o produto é submetido a -40°C e conduzido para uma

câmara de alto vácuo onde o aumento da temperatura desencadeia a sublimação da água (SILVA, 2000).

A escolha do tipo de equipamento e técnica de secagem depende das características da matéria-prima e do produto desejado, envolve questões econômicas e condições de operação (SILVA, 2000).

3.3.1 Secagem por camada de espuma

A secagem de materiais espumados remonta a 1917 e, desde então, diversos estudos com análises favoráveis foram feitos no desenvolvimento de processos, equipamentos e produtos; na compreensão dos mecanismos básicos do processo; e nas avaliações da qualidade do produto e estabilidade de armazenamento (HERTZENDORF; MOSHY; SELTZER, 1970).

A secagem pelo método de camada de espuma vem sendo pesquisada para diversos tipos de produtos, principalmente frutas, como graviola (GURGEL, 2014; BAPTESTINI *et al.*, 2015), banana (SEVERO, 2016) acerola (ARAÚJO *et al.*, 2017), morango (VIMERCATI *et al.*, 2019) e bacaba (DE CÓL *et al.*, 2021). A secagem da espuma é mais comumente realizada por ar aquecido, mas também são empregadas a secagem à vácuo (SRAMEK *et al.*, 2015), por micro-ondas (QADRI; SRIVASTAVA, 2017) e liofilização (SEERANGURAYAR *et al.*, 2017; DE CÓL *et al.*, 2021).

O método de secagem por camada de espuma pode ser entendido em três etapas, a primeira consiste na transformação do alimento líquido ou semilíquido em uma espuma estável, a segunda é a secagem da espuma até peso constante e a terceira se refere a desintegração da espuma seca em pó (FURTADO *et al.*, 2010). O sucesso da secagem por este método depende da preparação de uma espuma adequada e estável, pois o colapso das espumas durante o processo faz aumentar o tempo de secagem e prejudica a qualidade do produto (SANKAT; CASTAIGNE, 2004).

Nos produtos espumados, o transporte da água do interior para a superfície acontece de duas maneiras: pela vaporização dentro da estrutura interna expandida e transporte subsequente do vapor de água produzido para a superfície e pela ação capilar promovida pelas finas paredes das lamelas da bolha de ar que levam o líquido para a superfície. Estes fatores desempenham importante papel na taxa de secagem, reduzindo o tempo necessário e possibilitando o uso de temperaturas mais baixas, o que torna o processo favorável para secagem de materiais alimentícios sensíveis ao

calor (HERTZENDORF; MOSHY; SELTZER, 1970). A secagem por camada de espuma é aproximadamente três vezes mais rápida do que a desidratação de uma espessura similar de líquido (FELLOWS, 2019).

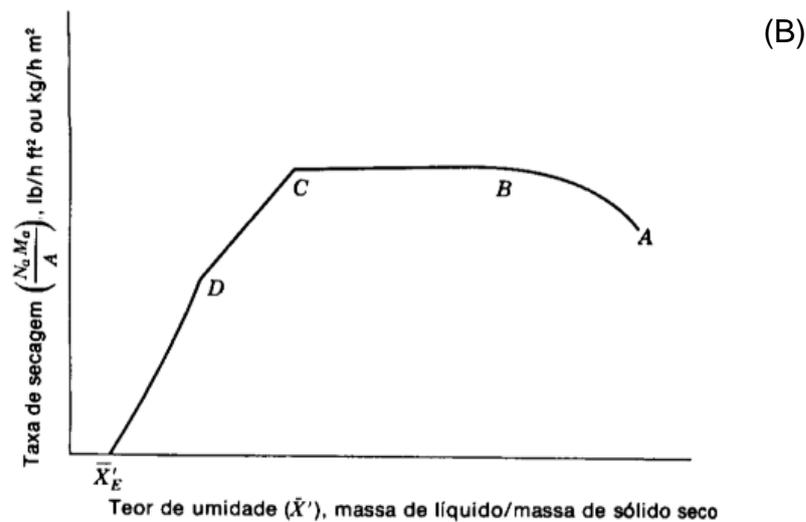
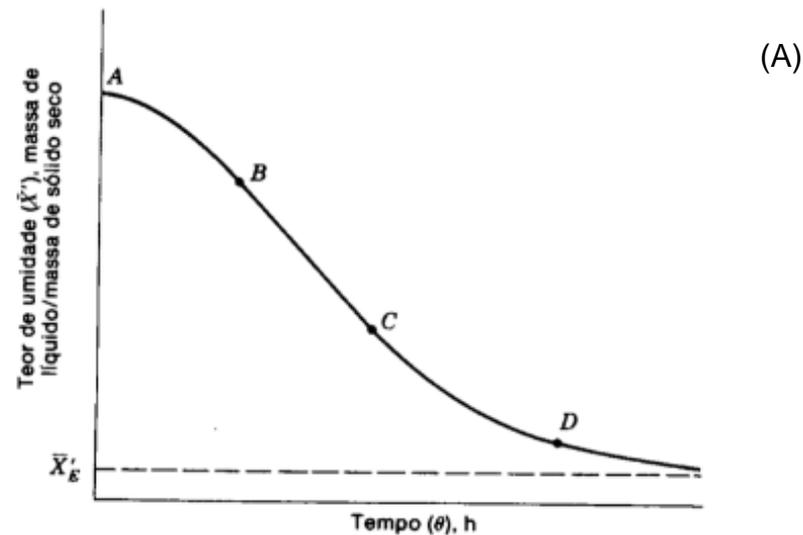
Rajkumar *et al.* (2007) verificaram que a secagem da polpa de manga a 60 °C nas espessuras de 1 mm, 2 mm e 3 mm levaram, respectivamente, 100 min, 130 min e 190 min sem a formação de espuma e 40 min, 60 min e 80 min com a formação de espuma, além disso, as alterações bioquímicas foram significativamente menores nas polpas de manga espumadas devido aos tempos de secagem mais curtos. Soares (2009) observou que após 4 h de secagem as espumas de araçá-boi atingiram teores de umidade entre 4,83 % e 7,4 %, enquanto, neste mesmo período, a polpa integral atingiu teor de umidade de 26,8 %.

3.3.2 Cinética de secagem e modelagem matemática

O estudo da cinética consiste na avaliação da rapidez com que um alimento perde umidade considerando a temperatura, a velocidade e a umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010).

O comportamento da umidade do alimento pode ser observado na figura 5A, em relação ao tempo, e 5B, em relação a taxa de secagem. A fração AB, corresponde a um período de estabilização, no qual as condições da superfície do alimento e do ar de secagem se equilibram. Na fração BC, denominada de período de taxa constante, a temperatura do alimento segue em equilíbrio com a do ar e a superfície exposta está saturada, existindo uma quantidade contínua de água proveniente da própria superfície e da água que migra, sem dificuldade, do interior do produto. Este intervalo (BC) é mais pronunciado em produtos de umidade elevada. O ponto C marca o final deste período e, neste ponto, a umidade é conhecida como umidade crítica. Na fração CD, denominada de período de taxa decrescente, a quantidade de líquido na superfície diminui, pois ocorre aumento na resistência interna e a água já não chega à superfície com a mesma facilidade. Do ponto D em diante, conhecido como segundo período decrescente, a umidade do alimento diminui até alcançar a umidade de equilíbrio para as condições de temperatura e umidade relativa do ar, marcando o final do processo de secagem (FOUST *et al.*, 1982).

Figura 5 – Relação entre o teor de umidade do alimento e tempo de secagem (A) e entre taxa de secagem e teor de umidade do alimento (B).



Fonte: Foust (1982)

Os fenômenos de transferência de calor e massa são complexos e difíceis de descrever matematicamente, desta forma, para fins de projeto e análise, frequentemente, é satisfatório utilizar modelos semiempíricos (MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002). O estudo da cinética de secagem e o ajuste de modelos matemáticos podem ser aplicados para diversos alimentos e contribui para a otimização dos processos de secagem (ARAÚJO *et al.*, 2017).

O modelo descrito por Lewis (1921), análogo à lei de resfriamento de Newton, adota que a taxa de secagem é proporcional à diferença entre o teor de umidade total

em determinado tempo e o teor de umidade de equilíbrio do material, sendo esta diferença conhecida como teor de água livre. O modelo adota que os gradientes de umidade dentro do material são insignificantes e considera apenas a resistência superficial, tendendo a superestimar os estágios iniciais e a subestimar os estágios posteriores da curva de secagem (MADAMBÁ; DRISCOLL; BUCKLE, 1996). O modelo é calculado com a seguinte equação:

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = \exp(-kt) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde k , é a constante de secagem e t , o tempo de secagem.

O lado esquerdo da equação 1 geralmente é chamado de razão de umidade (RU) ou umidade adimensional, sendo x , umidade média no tempo; x_e , umidade de equilíbrio e x_0 , umidade inicial da amostra. O numerador representa a quantidade de água que ainda pode ser removida ou a quantidade de água livre em qualquer tempo t , enquanto o denominador representa a quantidade total de água disponível para ser retirada pela secagem (CARLESSO *et al.*, 2007).

O modelo de Page, descrito em 1949 para a cinética da secagem de milho, traz a adição de um expoente n ao tempo t no modelo de Lewis que permite obter um método mais preciso para descrever mudanças nos dados medidos, especialmente para o estágio inicial da secagem (FALCÃO, 2015). A expressão do modelo é descrita pela equação 2.

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = \exp(-kt^n) \quad (\text{Eq. 2})$$

Overhults *et al.* (1973), após utilizarem várias equações, modificaram o modelo de Page para descrever a secagem da soja. O modelo ficou descrito pela equação 3.

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = \exp(-(k.t)^n) \quad (\text{Eq. 3})$$

O modelo de Henderson e Pabis é o primeiro termo de uma solução geral em série da segunda lei de Fick e foi usado por Henderson e Pabis para modelar a secagem de milho (DOYMAZ, 2005). Henderson e Pabis mostraram que os

coeficientes genéricos de secagem, k , não eram constantes e sim dependentes da temperatura do ar e dos mecanismos de difusão de água ou vapor d'água no interior das sementes (CARLESSO *et al.*, 2007). O modelo é calculado pela equação 4.

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = a. \exp(-k.t) \quad (\text{Eq. 4})$$

O modelo de logarítmico foi utilizado por Yagcioglu, Degirmencioglu e Cagatay, (1999) para ajustar os dados da secagem de folhas de louro a fim de determinar as relações entre conteúdo de umidade e tempo de secagem, razão de umidade e tempo de secagem e taxa de secagem e tempo de secagem. O modelo é expresso pela equação 5.

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = a. \exp(-k.t) + c \quad (\text{Eq. 5})$$

O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar, (2002) é um modelo obtido a partir dos dados experimentais da secagem de cogumelos, pólen e pistache e comparado estatisticamente com outros oito modelos empíricos ou semiempíricos publicados na literatura e comumente usados. A expressão do modelo está descrita na equação 6.

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = a. \exp(-k.t^n) + b.t \quad (\text{Eq. 6})$$

O modelo de Verma *et al.* (1985) é um modelo de dois termos, onde o primeiro termo é uma função linear do teor de umidade e o segundo termo é a diferença entre os valores de razão de umidade observados e aqueles calculados pelo termo único versus o tempo. A expressão do modelo está descrita na equação 7

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = a. \exp(-k.t) + (1 - a). \exp(-k_1.t) \quad (\text{Eq. 7})$$

O modelo de aproximação de difusão foi obtido pela inclusão de um segundo termo no modelo de Henderson e Pabis e descreveu adequadamente o comportamento da secagem de pimentas vermelhas (AKPINAR; BICER; YILDIZ,

2003). Yaldiz e Ertekin (2001) verificaram que este modelo foi adequado para descrever a secagem de abóbora e pimentão. O modelo é expresso pela equação 8.

$$\frac{x - x_e}{x_0 - x_e} = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t) \quad (\text{Eq. 8})$$

A modelagem matemática já foi aplicada para descrever a cinética de secagem por camada de espuma de diversos alimentos. Branco *et al.* (2016) e Araújo *et al.* (2017) testaram os modelos de Henderson e Pabis, Page e Lewis para a secagem das polpas de uvaia e acerola, respectivamente, e ambos verificaram que o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais. Galdino *et al.* (2016) aplicaram os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Page e Midilli aos dados experimentais da secagem da polpa de atemoia e os melhores ajustes foram observados com o modelo de Midilli. Feitosa *et al.* (2017) ajustaram os dados experimentais da secagem da polpa de murta aos modelos de Page, Exponencial e Midilli e o modelo de Midilli foi o que mostrou o melhor ajuste. Freitas *et al.* (2018) testaram os modelos matemáticos de Wang e Singh, Verma, Page e Midilli para os dados experimentais da secagem da polpa de cajá e relataram que o modelo de Wang e Singh apresentou o melhor ajuste na temperatura de 50 °C e o modelo de Midilli nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80°C.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram realizados no laboratório da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, unidade de Encantado/RS e da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre/RS - UFCSPA.

4.2 MATÉRIA-PRIMA

Os frutos de *Butia* spp. foram colhidos no mês de janeiro de 2021 em duas propriedades de agricultores familiares do município de Lajeado/RS e em uma propriedade do município de Santa Clara do Sul/RS. Os cachos foram retirados das plantas e à medida que os frutos amadureciam (percebido pelo fácil desprendimento da ráquis) foram sendo destacados, lavados em água corrente, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio 0,01 % durante 10 min, enxaguados, armazenados em sacolas plásticas e congelados (-18 °C).

Para a extração da polpa, os frutos foram descongelados sob refrigeração e despulpados em despulpadeira de frutas industrial (Marca Tomasi, modelo DPT-75, peneira de 1 mm). A polpa foi homogeneizada, embalada em potes plásticos com capacidade para 500 mL e congelada (-18 °C) até o momento da utilização.

A partir da polpa, foram realizados os experimentos de preparo da espuma e secagem, bem como as análises pertinentes a cada etapa, como mostram as figuras 6 e 7.

Devido ao grande número de detalhes que envolvem a classificação taxonômica referenciaremos, neste estudo, somente o gênero, utilizando *Butia* spp.

Figura 6 – Fluxograma do processo e análises realizadas em cada etapa.



Fonte: Autora (2021)

Figura 7 – Fluxograma do processo em imagens.



Fonte: Autora (2021)

4.3 FORMAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ESPUMA

Para a produção da espuma a polpa de *Butia* spp. foi descongelada sob refrigeração e, posteriormente, aquecida em banho-maria a 40 °C até atingir a temperatura de 23 °C. A albumina (Naturóvos, Salvador do Sul, Brasil) e a goma xantana (Foco Alternativo, Santa Cruz do Sul, Brasil) foram misturadas à polpa e, em seguida, a mistura foi agitada com o auxílio de batedor doméstico (Oster, modelo Power, 750 W, 12 velocidades), em velocidade máxima.

Para avaliar a formação da espuma foram utilizados os parâmetros de densidade e estabilidade.

4.3.1 Determinação da densidade

A densidade das espumas foi medida conforme descrito por Falade e Okocha (2012). A espuma foi colocada em tubos do tipo Falcon com pesos e volumes conhecidos. Os tubos contendo a espuma foram pesados e do peso total foi subtraído o peso dos tubos vazios, obtendo-se o peso da espuma. A densidade foi medida em triplicata e calculada de acordo com a equação 9:

$$\text{Densidade} = \frac{\text{Peso da espuma (g)}}{\text{Volume da espuma (mL)}} \quad (\text{Eq. 9})$$

4.3.2 Determinação da estabilidade

A estabilidade das espumas foi determinada segundo método descrito por Raharitsifa, Genovese e Ratti (2006) com adaptações. A espuma (15 g) foi disposta em papel filtro sustentado por um funil de vidro colocado em proveta graduada de 10 mL (figura 8). O aparato foi mantido em temperatura ambiente por 120 min e a proveta foi pesada em intervalos de 30 min para verificar a drenagem. Quanto maior a quantidade de líquido drenado, menor a estabilidade da espuma. A determinação da estabilidade foi realizada em triplicata e expressa em g de líquido drenado.

Figura 8 – Aparato constituído de proveta, funil e papel filtro para análise da estabilidade da espuma.



Fonte: Autora (2021)

4.4 OTIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DA ESPUMA

As variáveis independentes albumina, goma xantana e tempo de batimento foram definidas a partir da revisão da literatura e por testes preliminares. Para avaliar a influência e os níveis ótimos destas variáveis sobre as respostas densidade e estabilidade foi aplicada a metodologia de superfície de resposta. Para isto, foram realizados ensaios por meio de um planejamento fatorial 2^3 completo, com 8 pontos fatoriais (níveis ± 1), 5 pontos centrais (nível 0) e 6 pontos axiais ($\pm \alpha$), totalizando 19 ensaios. Os ensaios e os valores codificados e reais do experimento constam na tabela 1. As espumas foram realizadas conforme o item 4.3.

O polinômio abaixo foi ajustado aos dados experimentais:

$$Y = X_0 + X_1G + X_2A + X_3T + X_{11}G^2 + X_{22}A^2 + X_{33}T^2 + X_{12}GA + X_{13}GT + X_{23}AT$$

(Eq. 10)

Onde Y é a resposta predita (densidade ou estabilidade), X_0 , o valor independente; X_1 , X_2 , X_3 , os coeficientes lineares; X_{11} , X_{22} , X_{33} , os coeficientes quadráticos e X_{12} , X_{13} , X_{23} , os coeficientes de interação.

Os resultados foram analisados pelo Módulo de Desenho Experimental do programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK) que permite avaliar os efeitos lineares, quadráticos e as interações entre as variáveis e foram gerados gráficos para ilustrar os efeitos. Os valores ótimos foram obtidos pela solução da equação e análise dos gráficos.

Tabela 1 – Ensaio, valores codificados e reais do experimento fatorial 2^3 para formação de espuma.

(Continua)

Ensaio	Valores codificados			Valores reais		
	Goma xantana	Albumina	Tempo de batimento	Goma xantana (%)	Albumina (%)	Tempo de batimento (min)
1	-1	-1	-1	0,1	3,6	12
2	1	-1	-1	0,4	3,6	12
3	-1	1	-1	0,1	8,4	12
4	1	1	-1	0,4	8,4	12
5	-1	-1	1	0,1	3,6	18
6	1	-1	1	0,4	3,6	18
7	-1	1	1	0,1	8,4	18
8	1	1	1	0,4	8,4	18
9	-1,68	0	0	0	6	15
10	1,68	0	0	0,5	6	15
11	0	-1,68	0	0,25	2	15
12	0	1,68	0	0,25	10	15
13	0	0	-1,68	0,25	6	10
14	0	0	1,68	0,25	6	20
15	0	0	0	0,25	6	15
16	0	0	0	0,25	6	15
17	0	0	0	0,25	6	15
18	0	0	0	0,25	6	15
19	0	0	0	0,25	6	15

Fonte: Autora (2021)

4.5 SECAGEM E OBTENÇÃO DO PÓ

A espuma empregada na secagem foi produzida conforme o procedimento descrito no item 4.3 utilizando a concentração de albumina e goma xantana (% m/m) e o tempo de batimento que proporcionaram os melhores resultados de densidade e estabilidade da espuma, obtidos por meio do planejamento experimental descrito no item 4.4.

A espuma foi espalhada em bandejas de aço inox, medindo 16 cm de largura e 12 cm de comprimento, variando a espessura (0,5 cm a 1,5 cm) da camada de espuma e a temperatura de secagem (60 °C a 80 °C). As bandejas foram colocadas em estufas sem circulação de ar (Solab modelos SL-101 e SL 100) e a massa das amostras foi registrada a cada 30 min até peso constante, utilizando balança com graduação de 1 g (Cadence). Adotou-se como critério para determinação da massa constante três medidas consecutivas, sem alteração do peso das amostras.

A espuma seca foi triturada em gral com pistilo e o pó obtido foi acondicionado em sacos plásticos com fechamento do tipo *zip lock*, e envoltos em folha de alumínio. O material foi armazenado sob congelamento (-18 °C) para análises posteriores.

4.6 OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM

Para avaliar a influência e os níveis ótimos das variáveis espessura da camada de espuma e temperatura de secagem sobre as respostas conteúdo de vitamina C e produtividade, foi aplicada a metodologia de superfície de resposta. Para isto foram realizados ensaios experimentais de acordo com um planejamento fatorial 2² completo, com 4 pontos fatoriais (níveis ± 1), 3 pontos centrais (nível 0) e 4 pontos axiais (± α), totalizando 11 ensaios. Os ensaios e os valores codificados e reais do experimento constam na tabela 2. O polinômio abaixo foi ajustado aos dados experimentais:

$$Y = X_0 + X_1T + X_2E + X_{11}T^2 + X_{22}E^2 + X_{12}TE \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde Y é a resposta predita (vitamina C ou produtividade), X₀, o valor independente; X₁, X₂, os coeficientes lineares; X₁₁, X₂₂, os coeficientes quadráticos e X₁₂, o coeficiente de interação.

Os resultados foram analisados pelo Módulo de Desenho Experimental do programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK) que permite avaliar os efeitos lineares, quadráticos e as interações entre as variáveis e foram gerados gráficos para ilustrar os efeitos. Os valores ótimos foram obtidos pela solução da equação e análise dos gráficos.

Tabela 2 – Ensaios, valores codificados e reais do experimento fatorial 2² para a secagem em camada de espuma.

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Temperatura	Espessura	Temperatura (°C)	Espessura (cm)
1	-1	-1	63	0,65
2	1	-1	77	0,65
3	-1	1	63	1,35
4	1	1	77	1,35
5	0	0	70	1,00
6	0	0	70	1,00
7	0	0	70	1,00
8	-1,41	0	60	1,00
9	0	-1,41	70	0,50
10	1,41	0	80	1,00
11	0	1,41	70	1,50

Fonte: Autora (2021)

4.6.1 Cinética de secagem e modelagem matemática

As curvas da cinética de secagem foram obtidas plotando-se um gráfico com a umidade adimensional (W) *versus* o tempo de secagem (t) para cada combinação de espessura de camada de espuma e temperatura de secagem (ensaio do planejamento experimental 2² do item 4.6).

A umidade adimensional (W) foi calculada com a equação 12:

$$W = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde W é a umidade adimensional, X é a umidade em determinado tempo, X_0 é a umidade inicial e X_e é a umidade de equilíbrio. A umidade de equilíbrio foi considerada quando a perda de massa da amostra foi constante.

A umidade de equilíbrio é o ponto em que a pressão de vapor do líquido presente no sólido é igual a pressão parcial de vapor da água contida no ambiente da estufa. É o mínimo conteúdo de umidade que o material pode atingir quando deixado por tempo suficiente em determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar (GURGEL, 2014).

Oito modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de secagem (tabela 3), por meio de análise de regressão não linear pelo método de Gauss Newton, utilizando o programa Statistica 10.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK).

Tabela 3 - Modelos matemáticos avaliados para descrever a secagem da espuma da polpa de *Butia spp.*

Designação do Modelo	Modelo	
Lewis (LEWIS, 1921)	$W = \exp(-k.t)$	(Eq 1)
Page (PAGE, 1949)	$W = \exp(-k.t^n)$	(Eq 2)
Page Modificado (OVERHULTS <i>et al.</i> , 1973),	$W = \exp(-(k.t)^n)$	(Eq 3)
Henderson e Pabis (HENDERSON; PABIS, 1961)	$W = a. \exp(-k.t)$	(Eq 4)
Logarítmico (YAGCIOGLU; DEGIRMENCIOGLU; CAGATAY, 1999)	$W = a. \exp(-k.t) + c$	(Eq 5)
Midilli (MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002)	$W = a. \exp(-k.t^n) + b.t$	(Eq 6)
Verma (VERMA <i>et al.</i> , 1985)	$W = a. \exp(-k.t) + (1 - a). \exp(-k_1.t)$	(Eq 7)
Aproximação de Difusão (AKPINAR; BICER; YILDIZ, 2003)	$W = a. \exp(-k.t) + (1 - a). \exp(-k.b.t)$	(Eq 8)

Fonte: Autora (2021)

Onde: W é a razão de umidade, adimensional, t , é o tempo de secagem (min); k é a constante de secagem (min); a , b , c e n são coeficientes dos modelos matemáticos.

Para comparação dos modelos foram considerados critérios físicos e estatísticos. O critério físico para rejeição de um modelo consistiu na ocorrência de constante negativa (KLEIN *et al.*, 2018). Os critérios estatísticos adotados foram coeficiente de correlação (r^2), erro quadrático médio ($RMSE$), qui-quadrado (χ^2) e critério de Akaike (AIC). O modelo com menores $RMSE$, χ^2 e AIC , e maior r^2 para o ajuste aos dados experimentais foram considerados como a melhor escolha do ponto de vista estatístico (FALCÃO, 2015; SANT'ANNA *et al.*, 2014). Os valores de $RMSE$, χ^2 e AIC foram calculados de acordo com as equações 13, 14 e 15, respectivamente.

Para verificar a qualidade do ajuste de cada modelo matemático, foi realizada análise de regressão não-linear, através do método de Gauss-Newton, utilizando o programa computacional Statistica versão 10.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(a_{medido} - a_{predito})^2}{(n)}} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\chi^2 = \frac{\sum(a_{medido} - a_{predito})^2}{(n - p)} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$AIC = n \ln \left(\frac{\sum(a_{medido} - a_{predito})^2}{(n)} \right) + \frac{n(n + p)}{n - p - 2} \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde a_{medido} é o valor de umidade residual experimental, $a_{predito}$ é o valor de umidade residual predito pelo modelo, n é o número de observações (número de pontos da curva de secagem) e p é o número de parâmetros do modelo.

4.7 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA POLPA DE *Butia* spp.

Para avaliar a influência do processo de secagem pelo método de camada de espuma na polpa de *Butia* spp. foram realizadas as seguintes análises: produtividade, vitamina C, umidade, atividade de água, cor, pH, sólidos solúveis totais, solubilidade e capacidade de retenção de água.

4.7.1 Produtividade

A produtividade foi avaliada conforme Anesiadis, Cluett e Mahadevan (2008), com adaptações. Para o cálculo utilizou-se a razão entre a massa da espuma no final da secagem (pós) e o tempo de secagem (equação 16). A determinação foi realizada em duplicata.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Massa do pó (g)} \times (1 - \text{umidade do pó})}{\text{Tempo (h)}} \quad (\text{Eq. 16})$$

4.7.2 Vitamina C

O teor de vitamina C foi determinado pelo método titulométrico com o reagente 2,6-dicloroindofenolato sal sódico (Sigma-Aldrich), conforme AOAC 967,21. Diluiu-se 1 g da amostra em 10 mL de solução extratora, composta por ácido metafosfórico (Neon) e ácido acético glacial P.A. ACS (Êxodo Científica) e, em seguida, a mistura foi homogeneizada em vórtex (Marca Biomixer, modelo QL-901) por 1 min e centrifugada a 4000 rpm por 10 min. Dois mL do sobrenadante foram transferidos para um balão volumétrico de 25 mL e o volume completado com água destilada.

Em um frasco Erlenmeyer foram pipetados 5 mL do extrato, 5 mL da solução extratora e 50 mL de água destilada. A mistura foi titulada com solução de 2,6-dicloroindofenolato sal sódico até apresentar cor rosa persistente. Os resultados foram expressos em mg equivalentes de ácido L-ascórbico por 100 g em peso seco. A análise foi realizada em triplicata.

4.7.3 Umidade

A umidade foi determinada conforme metodologia descrita nos Métodos Físico-Químicos Para Análise de Alimentos (ZENEBAON; PASCUET; TIGLEA, 2008). Para isso, 3 g da amostra foram colocadas em estufa (Solab, modelo SL-100) a 105 °C, até peso constante, verificado em balança analítica. A umidade foi analisada em duplicata e o teor expresso em base úmida.

4.7.4 Atividade de água

A atividade de água foi obtida com o uso de aparelho portátil (Novasina, modelo LabSwift-aw) calibrado com padrão de umidade de 11 %. A amostra foi disposta na cubeta até preencher aproximadamente 2/3 do espaço, conforme indicação do fabricante. A análise foi realizada em triplicata.

4.7.5 Cor

A cor foi medida por meio de análise direta em colorímetro portátil (Konica Minolta, Chroma Meter CR-400), calibrado com padrão branco. A cor foi expressa

pelos valores das coordenadas L^* , que representa a luminosidade (0 = preto, 100 = branco), a^* que representa a transição da cor verde (-) para vermelha (+), e b^* que representa a transição da cor azul (-) para a amarela (+). A medição foi realizada em triplicata.

A tonalidade (h - ângulo hue) e a intensidade (C^* - croma) foram calculadas utilizando as equações 17 e 18, respectivamente (McGuire, 1992).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$h = \arctan(b^*/a^*) \quad (\text{Eq. 18})$$

4.7.6 pH

Para a verificação do pH, 5 g da amostra foram diluídos em 50 mL de água destilada e em seguida fez-se a medição com medidor de pH de bancada (PHOX, modelo P1000) previamente calibrado. A leitura foi realizada em triplicata.

4.7.7 Sólidos solúveis totais - Graus Brix

Para determinação dos sólidos solúveis totais, 5 g da amostra foram diluídos em 50 mL de água destilada e posteriormente a solução foi filtrada em papel de filtro para eliminar partículas sólidas que pudessem prejudicar a leitura. A leitura foi efetuada a partir do gotejamento de algumas gotas da amostra no prisma de refratômetro portátil (Homis, modelo 32ATC). A leitura foi realizada em triplicata e expressa em °Brix.

4.7.8 Solubilidade

A solubilidade do pó da polpa de *Butia* spp. foi medida conforme Eastman e Moore (1984), com modificações. Para isso, 1 g de pó foi misturado com 100 mL de água destilada e mantido sob agitação magnética durante 5 min. A solução foi centrifugada a 4000 rpm por 5 min e 10 mL do sobrenadante foi transferido para placas de Petry previamente secas e resfriadas em dessecador. As amostras foram

submetidas à secagem em estufa (Solab, modelo SL-100) a 105 °C até peso constante e a solubilidade foi calculada pela diferença de peso, de acordo com a equação 19. A análise foi feita em triplicata.

$$\text{Solubilidade \%} = \frac{\text{Massa de pó no sobrenadante}}{\text{Massa de pó total}} \times 100 \quad (\text{Eq. 19})$$

4.7.9 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água foi determinada de acordo com Rosell, Santos e Collar (2009), com modificações. Para a análise, 0,5 g do pó foram misturados com 10 mL de água destilada e a mistura foi deixada em repouso durante 24 h. Após, a mistura foi centrifugada a 4.000 rpm durante 3 min e o sobrenadante foi filtrado em papel filtro 80 g/m². A água retida no filtro e a água recolhida na filtragem foram pesadas em balança analítica e a quantidade foi subtraída do peso inicial da água. A determinação foi realizada em triplicata. A retenção de água foi expressa por peso de água por grama de pó calculada com a equação 20 e a análise foi realizada em triplicata.

$$\text{g água/g pó} = \frac{\text{Água retida}}{\text{Peso pó}} \quad (\text{Eq. 20})$$

A partir da capacidade de retenção de água, calculou-se a quantidade de água que o pó da polpa de *Butia* spp. pode incorporar. O cálculo foi efetuado conforme Panato (2017), subtraindo-se o valor da umidade de uma quantidade de pó e multiplicando-se pela capacidade de retenção de água, de acordo com a equação 21.

$$\text{g água incorporada} = \text{g pó} - \text{umidade do pó} \times \text{cap. de retenção de água} \quad (\text{Eq. 21})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão são apresentados concomitantemente, iniciando com a formação da espuma e as análises de densidade e estabilidade, seguindo com a secagem e as análises de produtividade e vitamina C. Na sequência encontra-se a cinética de secagem e a modelagem matemática e, por fim, a caracterização do pó produzido nas condições otimizadas de formação de espuma e secagem, por meio das análises de cor, pH, sólidos solúveis totais, umidade, atividade de água, capacidade de retenção de água e solubilidade.

5.1 OTIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DA ESPUMA

Os efeitos das variáveis independentes (concentração de albumina, concentração de goma xantana e tempo de batimento) nas variáveis de resposta (densidade e estabilidade) são mostrados na tabela 4.

A densidade da espuma ficou entre 0,22 g/mL e 0,81 g/mL. A estabilidade, medida pela drenagem do líquido de 15 g de espuma no intervalo de 120 min, variou de nenhuma quantidade de líquido drenado até 0,62 g de líquido drenado.

Tabela 4 – Resultado de densidade (g/mL) e estabilidade (g) da espuma obtidos a partir de um experimento fatorial 2³ em função da concentração de goma xantana (% p/p) e albumina (% p/p) e do tempo de batimento (min).

(Continua)

Ensaio	X1	X2	X3	Densidade* (g/mL)	Estabilidade* (g de líquido drenado em 120 min)
	Concentração de goma xantana (%)	Concentração de albumina (%)	Tempo de batimento (min)		
1	0,1	3,6	12	0,56 ± 0,02	0,62 ± 0,04
2	0,4	3,6	12	0,58 ± 0,01	0,18 ± 0,15
3	0,1	8,4	12	0,22 ± 0,01	0,00 ± 0,00
4	0,4	8,4	12	0,30 ± 0,01	0,00 ± 0,00
5	0,1	3,6	18	0,46 ± 0,01	0,32 ± 0,14
6	0,4	3,6	18	0,53 ± 0,02	0,11 ± 0,04
7	0,1	8,4	18	0,31 ± 0,01	0,00 ± 0,00
8	0,4	8,4	18	0,39 ± 0,01	0,00 ± 0,00
9	0	6	15	0,27 ± 0,01	0,04 ± 0,07
10	0,5	6	15	0,33 ± 0,01	0,00 ± 0,00
11	0,25	2	15	0,81 ± 0,01	0,18 ± 0,10
12	0,25	10	15	0,31 ± 0,01	0,00 ± 0,00

Ensaio	X1 Concentração de goma xantana (%)	X2 Concentração de albumina (%)	X3 Tempo de batimento (min)	(Conclusão)	
				Densidade* (g/mL)	Estabilidade* (g de líquido drenado em 120 min)
13	0,25	6	10	0,29 ± 0,01	0,00 ± 0,00
14	0,25	6	20	0,37 ± 0,01	0,00 ± 0,00
15	0,25	6	15	0,33 ± 0,01	0,00 ± 0,00
16	0,25	6	15	0,30 ± 0,01	0,00 ± 0,00
17	0,25	6	15	0,31 ± 0,01	0,00 ± 0,00
18	0,25	6	15	0,29 ± 0,01	0,00 ± 0,00
19	0,25	6	15	0,30 ± 0,01	0,00 ± 0,00

Fonte: Autora (2021)

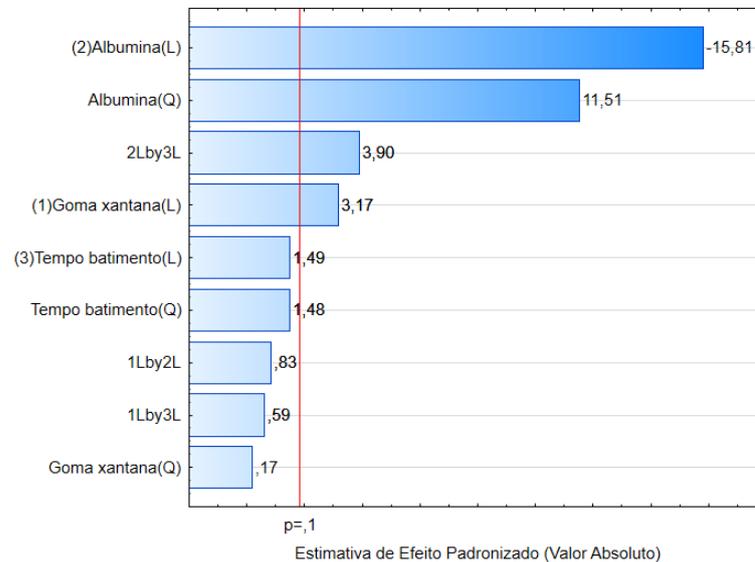
* Média de triplicata ± desvio padrão.

5.1.1 Densidade

Os parâmetros significativos para a densidade da espuma foram: a concentração de goma xantana (L), a concentração de albumina (L e Q) e a interação entre a concentração de albumina e o tempo de batimento.

Para a determinação dos parâmetros significativos foi utilizada a ANOVA e a significância de cada coeficiente foi avaliada pelo valor de p , em um nível de confiança de 90 % ($p < 0,10$). No gráfico de Pareto (figura 9) é possível visualizar de forma ordenada a significância das variáveis independentes na densidade da espuma.

Figura 9 – Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e de interação das variáveis testadas para a densidade da espuma. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 0,10$) é indicado por uma linha vertical.



Fonte: Autora (2021)

O coeficiente de determinação r^2 do modelo foi de 0,98, o que assegura um ajuste satisfatório do modelo quadrático aos dados experimentais e indica que 98 % da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo. O teste de Fischer apresentou valor de F calculado de 45,91. Este valor está acima do valor de F tabelado, 3,18, demonstrando a significância do modelo (tabela 5).

Tabela 5 – ANOVA para o modelo quadrático da densidade da espuma da polpa de *Butia spp.*

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	0,37	9	0,041	45,91	3,18
Resíduo	0,0081	9	0,00090		
Total	0,38	18			

Fonte: Autora (2021)

Assim, foi proposto que o modelo polinomial de segunda ordem para representar a densidade da espuma deveria ser reduzido a:

$$Y = 0,31 + 0,026G - 0,13A + 0,094A^2 + 0,041AT \quad (\text{Eq. 22})$$

Sendo Y a resposta obtida (densidade); G a concentração de goma xantana; A a concentração de albumina e T o tempo de batimento

Quanto maior a concentração de albumina, menor a densidade da espuma, porém a partir de determinada quantidade ocorre efeito contrário, como pode ser observado no gráfico A da figura 10.

A desnaturação parcial da albumina, promovida pela agitação em alta velocidade, expõe a parte hidrofílica e hidrofóbica da proteína, e as moléculas, ao se reorganizarem, incorporam o ar (LOMAKINA; MIKOVA, 2006). Quanto maior a quantidade de albumina adicionada, maior a quantidade de ar incorporado, reduzindo a densidade da espuma, no entanto, a partir de determinada concentração de albumina ocorre aumento da densidade, e este efeito se deve ao ponto de saturação da solubilidade da proteína sob um determinado conjunto de condições experimentais (RAJKUMAR *et al.* (2007). A saturação da solubilidade aumenta a viscosidade da solução e impede o aprisionamento do ar durante a agitação mecânica (BIKERMAN, 1973).

Resultado semelhante foi relatado por Karim e Wai (1999) na produção de espuma de purê de carambola (*Averrhoa carambola L.*) utilizando diferentes concentrações de Methocel 65 HG (metilcelulose) onde a adição de até 0,4 % (p/p) resultou em diminuição da densidade e acima deste ponto o efeito foi oposto. Abd El-Salam, Ali e Hammad (2021) verificaram que para formar espuma de polpa de mamão a concentração de 10 % (p/p) de albumina apresentou o melhor resultado e que além deste nível o efeito foi insignificante ($p < 0,05$).

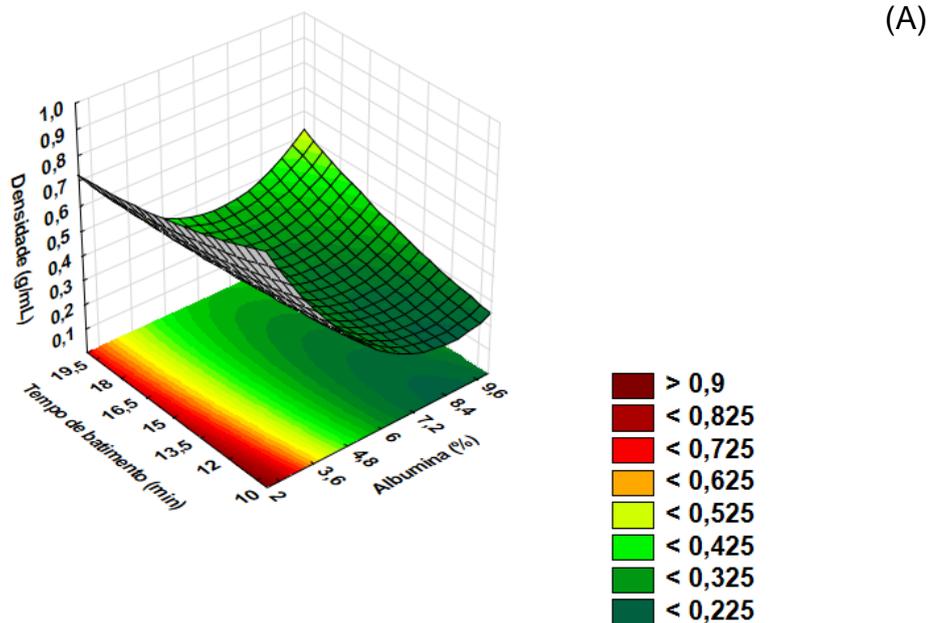
A concentração de goma xantana também apresentou efeito significativo na densidade da espuma, porém, diferentemente da albumina, o aumento da concentração de goma xantana aumentou a densidade das espumas, como pode ser observado no gráfico B da figura 10. A estrutura linear da goma xantana a torna um hidrocolóide com grande capacidade de aumentar a viscosidade aparente em concentrações relativamente baixas e o aumento da viscosidade deixa a solução resistente a incorporação de ar durante o batimento (DABESTANI; YEGANEHZAD, 2019). De acordo com Żmudziński *et al.* (2014) esse efeito pode ser explicado pelo fato de que o aumento da concentração de goma xantana promove a ligação de mais moléculas de água e toda a estrutura fica rígida.

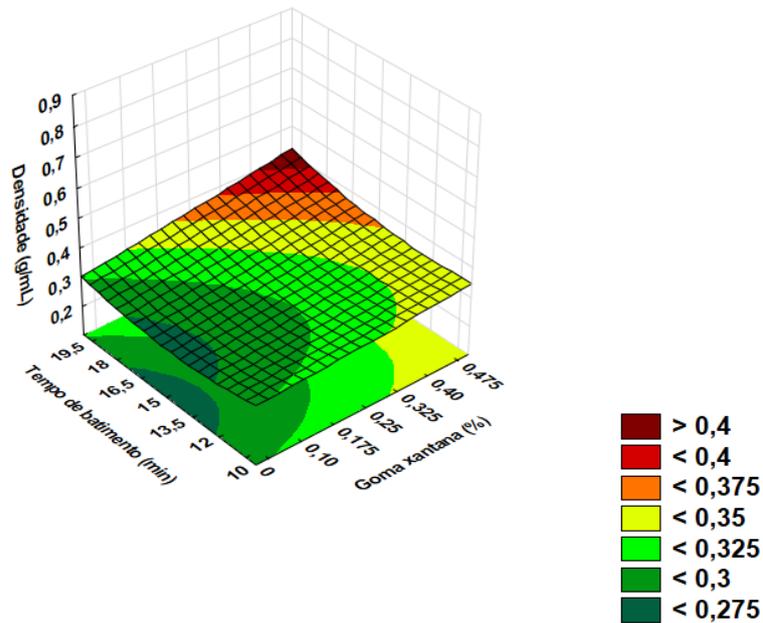
Dabestani e Yeganehzad (2019) ao estudarem o efeito da adição de goma xantana na formação e estabilidade da espuma de clara de ovo fresca pasteurizada

verificaram que, mesmo na quantidade mínima testada, a viscosidade aparente da espuma aumentou mais de cinco vezes e a densidade também aumentou. Abd El-Salam, Ali e Hammad (2021) utilizaram clara de ovo e goma xantana para formar espuma de polpa de mamão e relataram efeito adverso na expansão da espuma com o aumento da concentração de goma xantana na concentração mais alta de albumina.

A análise de variância mostrou que a interação entre a concentração de albumina e o tempo de batimento foi significativa para a densidade da espuma. Conforme mostra o gráfico A da figura 10, a menor densidade foi observada em maior concentração de albumina e menor tempo de batimento. O batimento é uma força mecânica que promove a incorporação de ar em uma solução, porém, períodos prolongados de batimento levam à desnaturação excessiva da proteína, que geralmente está associada à formação de agregados insolúveis que possuem pouca capacidade de retenção de água, ocasionando o colapso da espuma e o aumento da densidade (RAIKOS; CAMPBELL; STEPHEN, 2007). Tempo de batimento prolongado forma bolhas menores e conforme a bolha diminui, a área de superfície aumenta exponencialmente, necessitando de maior quantidade de material interfacial, resultando em membrana mais fraca, suscetível a vazamento e colapso (KINSELLA; MELACHOURIS, 1976).

Figura 10 – Superfície de resposta da densidade da espuma como função do tempo de batimento e da concentração de albumina (A) e como função do tempo de batimento e da concentração de goma xantana (B).





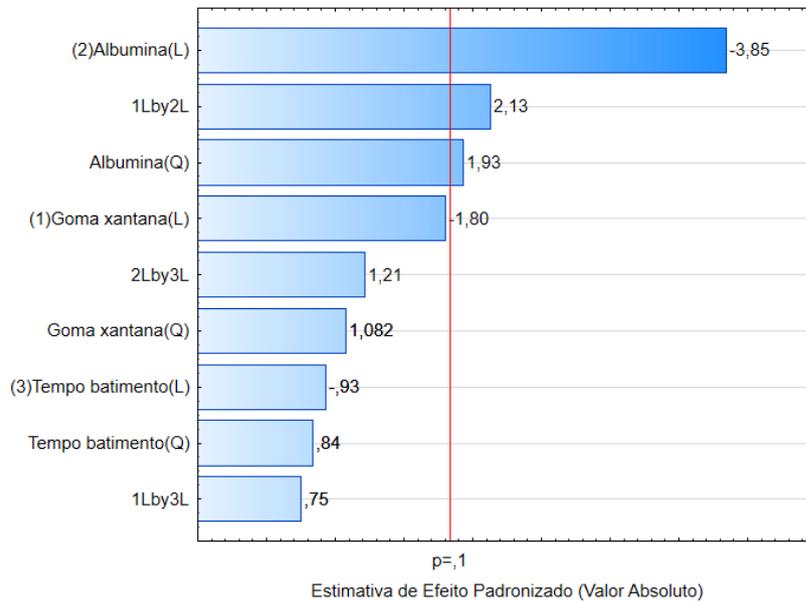
Fonte: Autora (2021)

5.1.2 Estabilidade

Os parâmetros que afetaram significativamente a estabilidade da espuma foram a concentração de albumina e sua interação com a goma xantana.

Para a determinação dos parâmetros significativos foi utilizada a ANOVA e a significância de cada coeficiente foi avaliada pelo valor de p , em um nível de confiança de 90% ($p < 0,10$). No gráfico de Pareto (figura 11) é possível visualizar de forma ordenada a significância das variáveis independentes na estabilidade da espuma.

Figura 11 – Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e de interação das variáveis testadas para a estabilidade da espuma. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 0,10$) é indicado por uma linha vertical.



Fonte: Autora (2021)

O coeficiente de determinação r^2 do modelo foi de 0,77, o que assegura um ajuste satisfatório do modelo quadrático aos dados experimentais e indica que 77 % da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo. O teste de Fischer apresentou valor de F calculado de 3,45. Este valor está acima do valor de F tabelado, 3,18, demonstrando a significância do modelo (tabela 6).

Tabela 6 – ANOVA para o modelo quadrático da estabilidade da espuma da polpa de *Butia* spp.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	0,36	9	0,040	3,45	3,18
Resíduo	0,10	9	0,012		
Total	0,45	18			

Fonte: Autora (2021)

Assim, foi proposto que o modelo polinomial de segunda ordem para representar a estabilidade da espuma deveria ser reduzido a:

$$Y = -0,11A + 0,056A^2 + 0,081GA$$

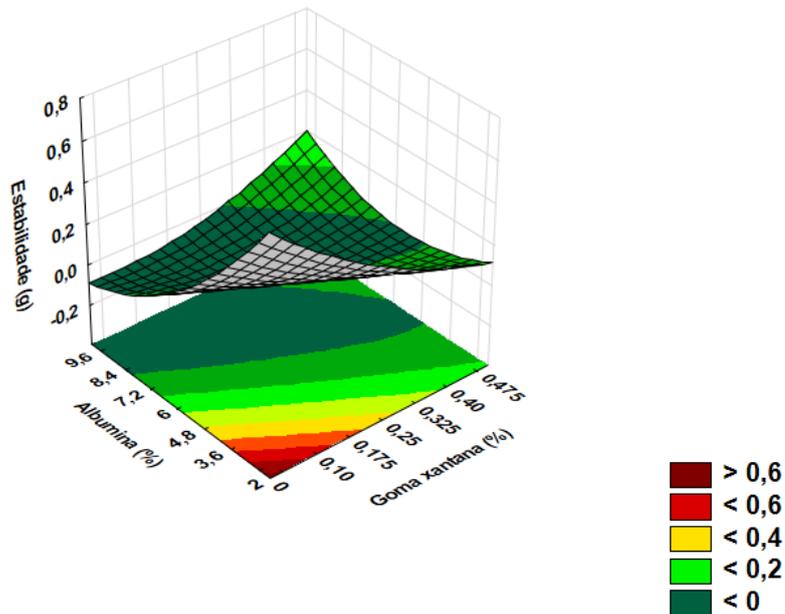
(Eq. 23)

Sendo Y a resposta obtida (estabilidade); A a concentração de albumina e G a concentração de goma xantana.

Conforme demonstrado no gráfico de superfície de resposta (figura 12), quanto maior a quantidade de albumina, maior a estabilidade da espuma. A albumina tem excelente capacidade de envolver o ar em uma camada de proteína resistente para evitar coalescência (KINSELLA; MELACHOURIS, 1976). Durante o batimento, as proteínas sofrem alterações na configuração molecular que resultam na redução da solubilidade ou precipitação de algumas proteínas que se acumulam na interface ar-líquido e se associam formando um filme estabilizador ao redor das bolhas de ar, essencial para a estabilidade da espuma (LOMAKINA; MIKOVA, 2006). Rajkumar *et al.* (2007) estudaram a influência do aumento do percentual de albumina na estabilidade da espuma de polpa de manga pelo tempo de 3 h em temperatura ambiente e verificaram que a estabilidade aumentou com o aumento do percentual de albumina.

A interação entre a albumina e a goma xantana foi significativa e, conforme pode-se observar na figura 12, a adição de determinada quantidade de goma xantana permite que a estabilidade desejada seja alcançada utilizando-se uma quantidade menor de albumina. Segundo Susanti *et al.* (2021) a estabilidade da espuma proporcionada pela goma xantana pode ser atribuída ao aumento da viscosidade na fase contínua e a construção de uma estrutura de espuma que dificulta o movimento do componente, devido ao entrelaçamento da microestrutura a partir da interação da proteína e do polissacarídeo. De acordo com Muthukumaran, Ratti e Raghavan, (2008), o alto nível de energia superficial na interface ar-água torna as espumas termodinamicamente instáveis e geralmente são usados estabilizadores para aumentar a resistência da lamela e melhorar a estabilidade. Ao testarem diferentes estabilizadores para otimizar a estabilidade da espuma de clara de ovo, os autores verificaram que 0,125 % (p/p) de goma xantana conferiu estabilidade suficiente para a liofilização.

Figura 12 – Superfície de resposta da estabilidade da espuma como função da concentração de albumina e goma xantana.



Fonte: Autora (2021)

5.1.3 Seleção da espuma

Para confirmar a aplicabilidade do modelo, a densidade e a estabilidade da espuma foram determinadas utilizando-se 0,25 % (p/p) de goma xantana, 7 % (p/p) de albumina e 10 min de tempo de batimento, que são os valores ótimos encontrados. Nesse caso, as configurações codificadas das variáveis testadas foram $G = 0$, $A = 0,41$ e $T = -1,68$, com o modelo prevendo densidade de 0,24 g/mL e estabilidade de -0,036 g. Experimentalmente, foram obtidos 0,25 g/mL de densidade e zero g de estabilidade, confirmando a proximidade do modelo com os resultados experimentais.

5.2 OTIMIZAÇÃO DA SECAGEM

A espuma utilizada para os ensaios de secagem foi elaborada de acordo com a formulação selecionada no item 5.1.3.

Os resultados dos ensaios de secagem da polpa de *Butia* spp. pelo método de camada de espuma para verificar os efeitos das duas variáveis independentes – temperatura de secagem e espessura da camada de espuma nas variáveis de resposta produtividade e vitamina C são mostrados na tabela 7.

A produtividade dos pós ficou entre 1,68 g/h e 3,36 g/h e a vitamina C entre 4,10 mg e 12,35 mg de ácido ascórbico por 100 g de pó de *Butia* spp., base úmida.

Tabela 7 – Resultados obtidos no experimento fatorial 2² para secagem da polpa de *Butia* spp. pelo método de secagem por camada de espuma.

Ensaio	X1	X2	Produtividade*	Vitamina C*
	Temperatura	Espessura	g/h	mg /100 g base seca
1	63	0,65	1,81 ± 0,01	4,14 ± 0,00
2	77	0,65	2,96 ± 0,32	12,35 ± 0,00
3	63	1,35	1,68 ± 0,12	4,16 ± 0,00
4	77	1,35	3,36 ± 0,37	6,12 ± 0,02
5	70	1,00	2,52 ± 0,36	8,15 ± 0,00
6	70	1,00	2,12 ± 0,17	8,26 ± 0,00
7	70	1,00	2,56 ± 0,33	6,05 ± 0,02
8	60	1,00	1,68 ± 0,02	4,11 ± 0,00
9	70	0,50	2,39 ± 0,30	8,13 ± 0,00
10	80	1,00	2,72 ± 0,47	8,14 ± 0,00
11	70	1,50	2,32 ± 0,19	4,10 ± 0,00
Polpa				56,03 ± 0,00

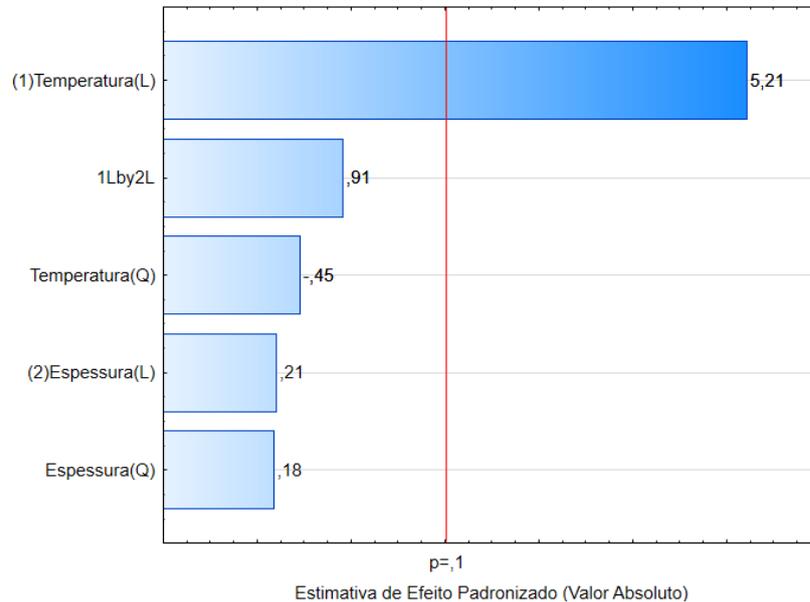
Fonte: Autora (2021)

*Média de duplicata ± desvio padrão.

5.2.1 Produtividade

Somente a temperatura teve efeito significativo na produtividade dos pós da polpa de *Butia* spp. Para a determinação dos parâmetros significativos foi utilizada a ANOVA e a significância de cada coeficiente foi avaliada pelo valor de p , em um nível de confiança de 90% ($p < 0,10$). No gráfico de Pareto (figura 13) é possível visualizar a significância da variável independente temperatura na produtividade dos pós.

Figura 13 – Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) ou de interação das variáveis testadas para a produtividade dos pós. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 0,10$) é indicado por uma linha vertical.



Fonte: Autora (2021)

O coeficiente de determinação (r^2) do modelo foi de 0,85, o que assegura um ajuste satisfatório do modelo quadrático aos dados experimentais e indica que 85 % da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo. O teste de Fischer apresentou valor de F calculado de 5,66. Este valor está acima do valor de F tabelado, 5,050, demonstrando a significância do modelo (tabela 8).

Tabela 8 – ANOVA para o modelo quadrático de produtividade do pó de *Butia spp.*

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	2,41	5	0,48	5,66	5,050
Resíduo	0,43	5	0,085		
Total	2,84	10			

Fonte: Autora (2021)

Assim, foi proposto que o modelo polinomial de segunda ordem para representar a produtividade das espumas secas deveria ser reduzido a:

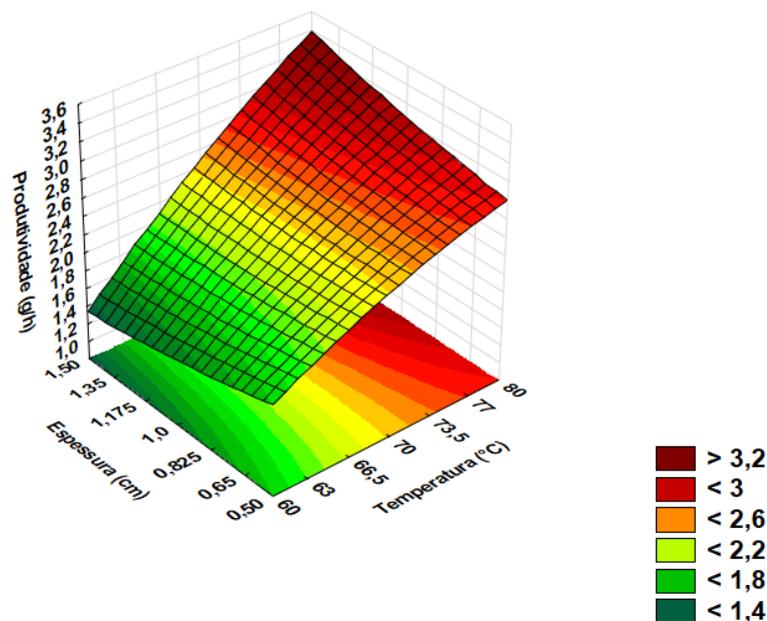
$$Y = 2,40 + 0,54T \quad (\text{Eq. 24})$$

Sendo Y a resposta obtida (produtividade) e T a temperatura de secagem

Conforme demonstrado no gráfico da superfície de resposta (figura 14) a temperatura tem efeito significativo positivo na produtividade dos pós de *Butia* spp., isso indica que o aumento da temperatura de secagem eleva a produtividade em g/h. Estudos sobre a secagem de polpa de frutas pelo método de camada de espuma relatam que o aumento da temperatura reduz o tempo de secagem e a umidade do produto desidratado (ARAÚJO *et al.*, 2017; BAPTESTINI *et al.*, 2015, FERNANDES, 2010; FILHO, 2012), fatores importantes na avaliação da produtividade, uma vez que ela é calculada por meio da razão entre a massa do pó (deduzida a umidade) e o tempo de secagem.

A secagem de alimentos se caracteriza por elevado consumo energético e baixo rendimento no volume de produção (JORGE, 2014), por isso as condições que promovem a remoção da umidade de forma mais rápida e eficiente são as que resultam em maior produtividade. Santo *et al.* (2013) relataram maior produtividade na produção de biomassa bacteriana pela técnica de *spray drying*, comparada com a liofilização por conta da diferença no tempo de secagem, que foi de 2 h e 48 h, respectivamente.

Figura 14 – Superfície de resposta da produtividade como função da temperatura de secagem e da espessura da camada de espuma.



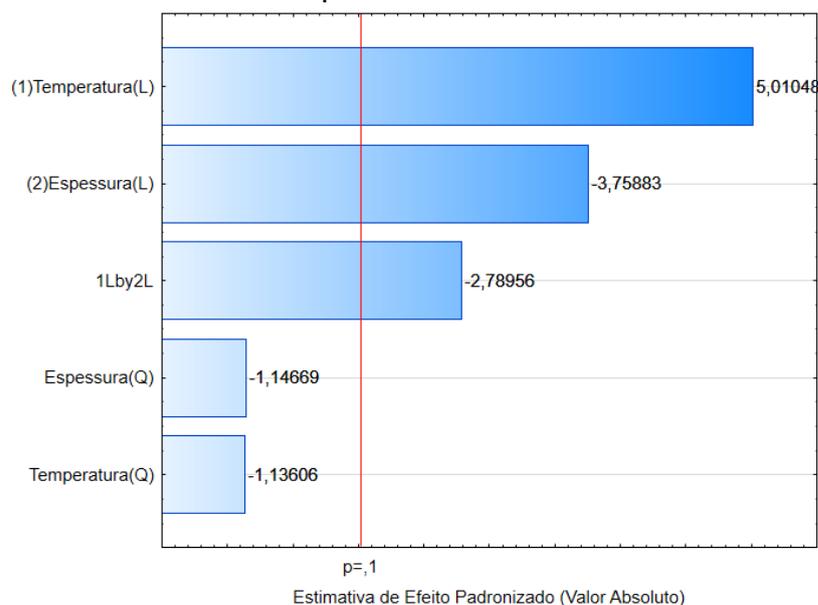
Fonte: Autora (2021)

5.2.2 Vitamina C

Os parâmetros que influenciaram significativamente o teor de vitamina C foram a temperatura (L), a espessura da camada de espuma (L) e a interação entre elas também.

Para a determinação dos parâmetros significativos e para estimar o teor de vitamina C dos pós da polpa de *Butia* spp., foi utilizada a análise de variância (ANOVA) e a significância de cada coeficiente foi avaliada pelo valor de p , em um nível de confiança de 90% ($p < 0,10$), no gráfico de Pareto (figura 15) é possível visualizar de forma ordenada a significância das variáveis independentes no teor de vitamina C dos pós.

Figura 15 – Gráfico de Pareto para o modelo quadrático mostrando os efeitos lineares (L), quadráticos (Q) ou de interação das variáveis testadas para o teor de vitamina C dos pós. O ponto onde os efeitos foram significativos (para $p < 0,10$) é indicado por uma linha vertical.



Fonte: Autora (2021)

O coeficiente de determinação (r^2) do modelo foi de 0,91, o que assegura um ajuste satisfatório do modelo quadrático aos dados experimentais e indica que 91% da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo. O teste de Fischer apresentou valor de F calculado de 9,92. Este valor está acima do valor de F tabelado, 5,05, demonstrando a significância do modelo (tabela 9).

Tabela 9 – ANOVA para o modelo quadrático de vitamina C do pó de *Butia* spp.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	62,27	5	12,45	9,92	5,05
Resíduo	6,27	5	1,25		
Total	67,81	10			

Fonte: Autora (2021)

Assim, foi proposto que o modelo polinomial de segunda ordem para representar a vitamina C das espumas secas deveria ser reduzido a:

$$Y = 7,48 + 1,99T - 1,49E - 1,56TE \quad (\text{Eq. 25})$$

Sendo Y a resposta obtida (vitamina C), T a temperatura de secagem e E a espessura da camada de espuma.

No gráfico da superfície de resposta (figura 16) observa-se a interação entre as variáveis temperatura e espessura de camada de espuma sobre o teor de vitamina C dos pós da polpa de *Butia* spp.

A polpa *in natura* apresentou 56,03 mg/100 g de ácido ascórbico e os pós, entre 4,10 mg/100 g e 12,35 mg/100 g de ácido ascórbico, indicando redução entre 92,68 % e 77,96 %. A análise da equação do modelo polinomial da secagem das espumas mostra que a temperatura de secagem tem efeito positivo na preservação da vitamina C e a espessura da camada de espuma tem efeito negativo, significando que, nos intervalos analisados, temperaturas de secagem mais elevada e menores espessuras de camada de espuma proporcionam maior retenção da vitamina C. Este resultado, está de acordo com outros estudos que inferem que a vitamina C é mais sensível ao tempo de secagem do que à temperatura elevada (QADRI; SRIVASTAVA, 2017; PANDITH; SRIVASTAVA, 2018). A degradação da vitamina C durante a secagem pode estar relacionada com três fatos: as moléculas do alimento são aproximadas, aumentando a possibilidade de interações entre elas; a remoção da água forma microcapilares que facilita o acesso do oxigênio e a sensibilidade química dos componentes aumenta, devido a remoção da água de hidratação protetora dos sítios reativos das moléculas (ARAÚJO, 2008). Desta forma, as menores perdas de vitamina C nos menores tempos de secagem, podem estar relacionadas com a menor exposição da vitamina C a fatores como umidade, luz e oxigênio, que contribuem para

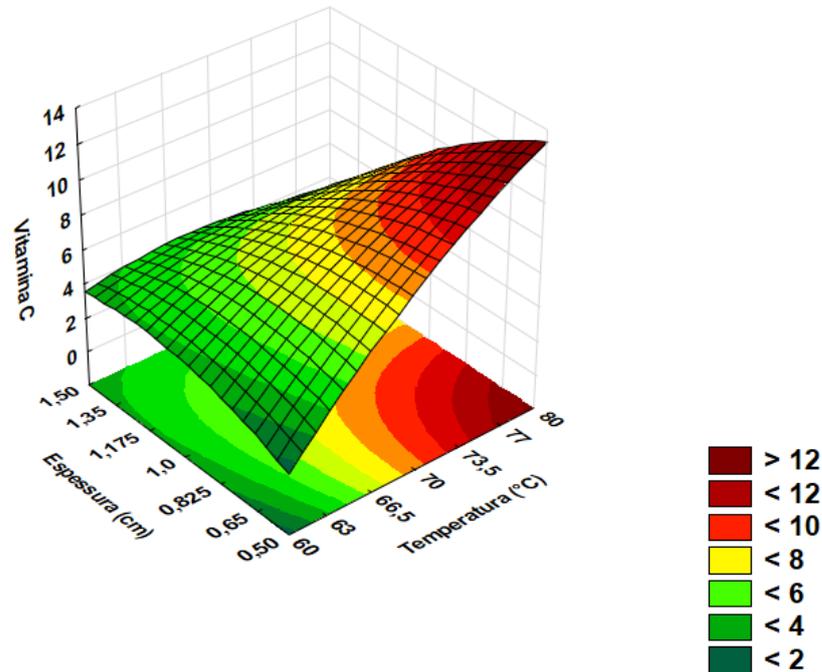
a sua degradação (FREITAS *et al.*, 2018). A redução da umidade aumenta a viscosidade do meio e reduz a mobilidade dos fatores de reação, auxiliando na preservação da vitamina C (LEE; LABUZA, 1975).

A preservação da vitamina C em temperaturas mais elevadas de secagem também tem relação com a inativação da enzima ascorbato oxidase, que embora tenha sua reação potencializada pelo aumento da temperatura, quando muito elevada, desnatura a enzima e provoca inativação (PEREIRA, 2012).

Maharaj e Sankat (1996) secaram folhas de taro (*Colocasia esculenta*) por convecção natural e convecção forçada em temperaturas de 40 °C a 70 °C e verificaram que nos menores tempos de secagem ocorreu menor perda de vitamina C. Silva *et al.* (2008) desidrataram polpa de tamarindo (*Tamarindus indica L.*) pelo método de secagem por camada de espuma com temperaturas entre 50 °C e 80 °C e relataram que quanto maior a temperatura, onde a secagem foi mais rápida, maior foi a preservação da vitamina C. Qadri e Srivastava (2017) produziram pó de goiaba pelo método de secagem por camada de espuma utilizando diferentes níveis de potência de micro-ondas (entre 480 W e 800 W), espessuras de camada (3 mm, 5 mm e 7 mm) e temperaturas do ar de entrada (40 °C e 50 °C) e relataram que a vitamina C foi mais bem preservada nas maiores potências e, na maioria dos casos, nas menores espessuras, sendo que as maiores potências e menores espessuras tiveram menores tempos de secagem.

Gabas, Telis-Romero e Menegalli, (2003) estudaram a cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas desidratadas que foram submetidas a diferentes condições de temperatura e umidade relativa e verificaram que quanto mais baixa a temperatura maior a influência da umidade na degradação da vitamina C devido a menor viscosidade e, conseqüentemente, maior mobilidade molecular e do oxigênio, aumentando as taxas de reação.

Figura 16 – Superfície de resposta do teor de vitamina C como função da temperatura de secagem e da espessura da camada de espuma.



Fonte: Autora (2021)

5.2.3 Seleção da condição de secagem

Para confirmar a aplicabilidade do modelo o teor de vitamina C e o rendimento foram determinados utilizando-se 80°C de temperatura e 0,50 cm de espessura de camada de espuma, que são os valores ótimos sugeridos por ele. Nesse caso, as configurações codificadas das variáveis testadas foram $T = 1,41$ e $E = -1,41$, com o modelo prevendo produtividade de 3,16 g/h de pó e 15,49 mg/100 g de ácido ascórbico. Experimentalmente, foi obtido 3,41 g/h de pó e 33,90 mg/100 g de ácido ascórbico.

A diferença entre os valores previstos pelo modelo e os verificados experimentalmente de vitamina C e produtividade se devem às condições otimizadas pelas quais o pó foi obtido e, em relação a vitamina C a diferença expressiva decorre também das limitações da técnica utilizada.

5.3 CINÉTICA DE SECAGEM

Oito modelos matemáticos (Eq. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8) foram testados para se ajustar aos dados experimentais da secagem da polpa de *Butia* spp. por camada de

espuma com diferentes temperaturas e espessuras de camada. Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos foi utilizado como critério físico a estimativa de parâmetro negativo em alguma constante (KLEIN *et al.*, 2018) e como critérios estatísticos o coeficiente de correlação (r^2), o erro quadrático médio ($RMSE$), o qui-quadrado (χ^2) e o critério de Akaike (AIC) (SANT'ANNA *et al.*, 2014; FALCÃO, 2015). Quanto maior é o valor de r^2 e menores os valores de $RMSE$, χ^2 e AIC , melhor é o ajuste do modelo aos dados experimentais. O desempenho estatístico dos modelos está resumido na tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros de erro mínimo e máximo para ajustar dados experimentais a diferentes modelos matemáticos na faixa de temperatura de 60 °C a 80 °C e de espessura de camada de espuma de 0,50 cm a 1,50 cm.

Modelo	R^2 Coeficiente de determinação	$RMSE$ Erro quadrático médio	χ^2 Qui-quadrado	AIC Critério de Akaike
Lewis	[0,75;0,81]	[0,066;0,11]	[0,027;0,039]	[-40;-2,4]
Page	[0,98;0,99]	[0,0021;0,0096]	[0,0012;0,0030]	[-80;0,23]
Page modificado	[0,98;0,99]	[0,0021;0,011]	[0,0012;0,0042]	[-82;0,23]
Herderson Pabis	[0,80;0,84]	[0,057;0,084]	[0,023;0,046]	[-42;17]
Logarítmico	[0,92;0,96]	[0,015;0,031]	[0,0079;0,020]	[-57;23] Ensaio 2 não convergiu
Verma	[0,97;1,0]	[0,00054;0,013]	[0,00027;0,0073]	[-96;13] Ensaio 2 não convergiu
Midilli	[0,97;0,99]	[0,0021;0,013]	[0,0026;0,0064]	[-78;-0,42]
Aproximação de Difusão	[0,93;1,0]]	0,0011;0,27]	[0,00048;0,013]	[-93;5,4]

Fonte: Autora (2021)

O modelo logarítmico apresentou valores negativos na constante c ; o modelo de Verma apresentou valores negativos em k_1 , k_2 e a ; o modelo de Midilli apresentou valores negativos em k e b . Por fim, o modelo de aproximação de difusão apresentou valores negativos em b , exceto no ensaio 10 onde b foi positivo, mas a negativo. Estes modelos foram rejeitados pelo critério físico inconsistente.

Os modelos de Lewis e Henderson e Pabis apresentaram baixo desempenho em relação a valores de r^2 (de 0,75 a 0,81 e de 0,80 a 0,84, respectivamente). De acordo com Madamba, Driscoll e Buckle (1996) é desejável r^2 acima de 0,90. Os modelos de Page e Page modificado apresentaram valores semelhantes para todos os critérios estatísticos analisados, com valores de r^2 mais altos e valores de $RMSE$, χ^2 e AIC mais baixos do que os modelos de Lewis e Henderson e Pabis. Os valores de r^2 para o modelo de Page e Page modificado variaram de 0,98 a 0,99. Os valores

de *RMSE* para Page variaram de 0,0021 a 0,0096 e de 0,0021 a 0,011 para o modelo de Page modificado. O x^2 variou de 0,0012 a 0,0030 para Page e de 0,0012 a 0,0042 para o Page modificado. O *AIC* variou de -80,32 a 0,23 para Page e de -81,82 a 0,23 para Page modificado.

Os valores estimados para os parâmetros *k* e *n* dos modelos de Page e Page modificado são apresentados na tabela 11, sendo *k* a taxa de secagem e *n* a constante dos modelos.

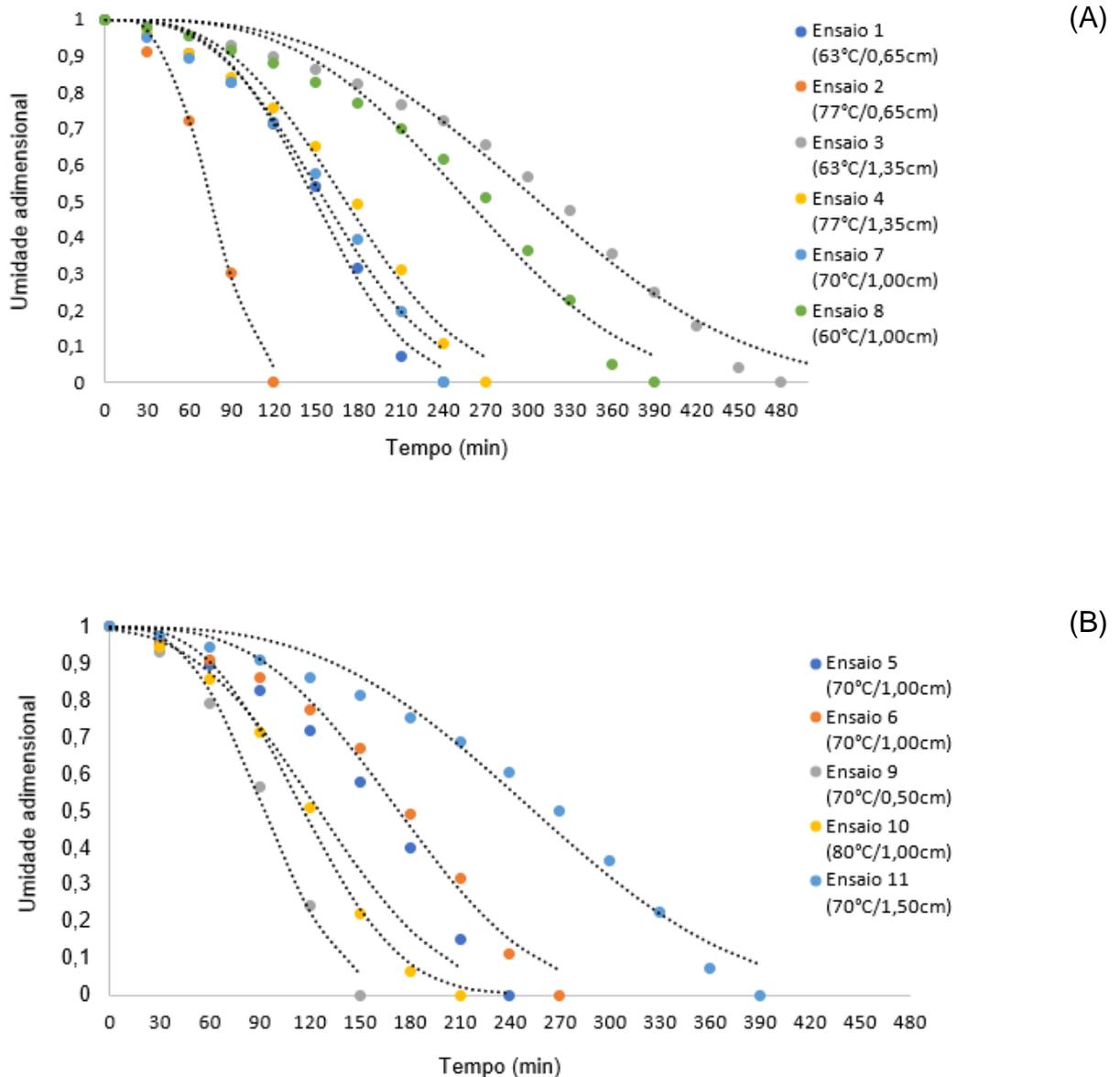
Tabela 11 – Valores dos parâmetros *k* e *n* dos modelos de Page e Page Modificado.

Ensaio	Temperatura (°C)	Espessura (cm)	Page		Page Modificado	
			<i>k</i>	<i>n</i>	<i>k</i>	<i>n</i>
1	63	0,65	6,3E-08	3,2	0,0059	3,2
2	77	0,65	5,3E-07	3,3	0,012	3,3
3	63	1,35	9,3E-08	2,8	0,0029	3,0
4	77	1,35	1,8E-07	2,9	0,0052	2,9
5	70	1,00	1,6E-07	3,0	0,0057	3,0
6	70	1,00	7,9E-08	3,1	0,0051	3,1
7	70	1,00	3,2E-07	2,9	0,0056	2,9
8	60	1,00	6,3E-08	2,9	0,0035	3,2
9	70	0,50	1,1E-06	2,9	0,0095	2,9
10	80	1,00	7,2E-07	2,9	0,0076	2,9
11	70	1,50	8,5E-08	2,9	0,0035	3,0

Fonte: Autora (2021)

Para o modelo de Page, o parâmetro *k* não descreveu adequadamente a taxa de secagem, como pode ser observado nos ensaios 3 e 8 (tabela 11), onde *k* do ensaio 3 é maior do que do ensaio 8, diferentemente do que se observa nas curvas cinéticas (figura 17A), onde o ensaio 8 secou mais rápido que o ensaio 3. O mesmo acontece com os ensaios 2 e 9.

Figura 17 – Curvas de secagem dos dados experimentais e curvas de tendência do modelo de Page modificado dos ensaios 1, 2, 3, 4, 7 e 8 (A) e dos ensaios 5, 6, 9, 10 e 11 (B).



Fonte: Autora (2021)

A linha pontilhada refere-se às curvas de tendência do modelo de Page modificado e os círculos fechados aos dados experimentais.

Desta forma o modelo de Page mostrou-se adequado para modelar as curvas de secagem nas temperaturas e espessuras de camada de espuma testadas neste estudo, mas não para estimar a taxa de secagem para temperaturas e espessuras de camada de espuma diferentes. No modelo de Page modificado o parâmetro k está de acordo com as curvas de secagem em todos os ensaios. Assim, o modelo de Page

Modificado foi selecionado para representar o comportamento da secagem da polpa de *Butia* spp. pelo método de camada de espuma. As curvas de tendência do modelo de Page Modificado constam na figura 17A e 17B.

Para verificar a influência das variáveis temperatura e espessura da camada de espuma no parâmetro k do modelo de Page Modificado foi utilizada a ANOVA.

Para o parâmetro k , o coeficiente de determinação (r^2) do modelo foi de 0,98, o que assegura um ajuste satisfatório do modelo e indica que 98 % da variabilidade da resposta pode ser explicada pelo modelo. O teste de Fischer apresentou valor de F calculado de 46,93. Este valor está acima do valor tabelado, $F = 5,050$, demonstrando a significância do modelo (tabela 12).

Na faixa estudada, em um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$), os fatores significativos foram: temperatura (L), espessura da camada de espuma (L e Q) e a interação entre elas. A significância de cada coeficiente foi avaliada pelo valor de p .

Tabela 12 – ANOVA para o parâmetro k do modelo de Page Modificado.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	0,00	5	1,45E-05	46,93	5,050
Resíduo	0,00	5	3,10E-07		
Total	0,00	10			

Fonte: Autora (2021)

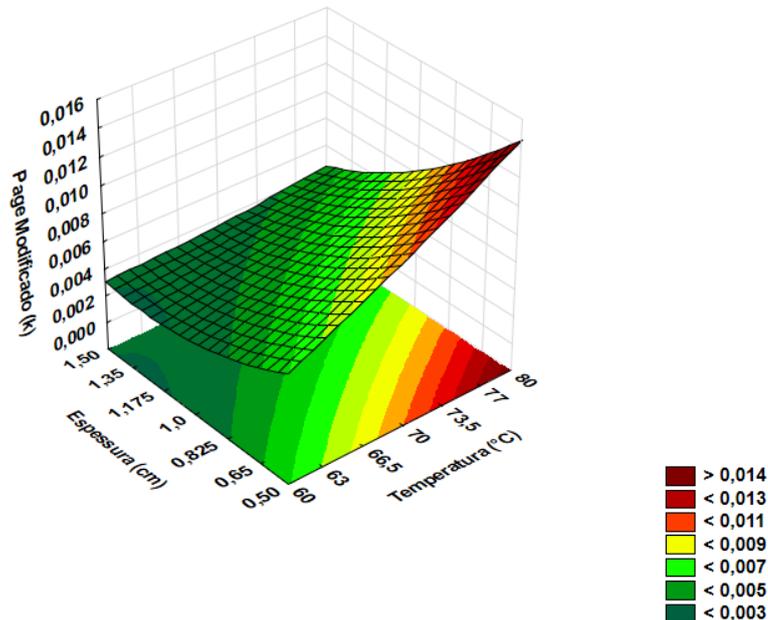
Assim, foi proposto que o modelo polinomial de segunda ordem para representar o parâmetro k do modelo de Page modificado deveria ser reduzido a:

$$Y = 0,0055 + 0,0018T - 0,0023E + 0,00062E^2 - 0,00091TE \quad (\text{Eq. 26})$$

Sendo Y a resposta obtida (k), T a temperatura de secagem e E a espessura da camada de espuma.

Para testar o modelo foi calculado o parâmetro k da condição de secagem otimizada (temperatura de secagem de 80°C e 0,50 cm de espessura de camada de espuma), obtendo valor de 0,014, que indica que a taxa de secagem da condição otimizada é maior do que a taxa de secagem dos ensaios do planejamento experimental. Este resultado também pode ser observado na superfície de resposta (figura 18).

Figura 18 – Superfície de resposta do parâmetro k , do modelo de Page modificado como função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e espessura da camada de espuma (cm).



Fonte: Autora (2021)

Constatou-se que as curvas de secagem (figura 17), construídas a partir dos dados de umidade em base úmida e da taxa de secagem em função do tempo foram influenciadas pela temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e pela espessura da camada de espuma (cm). As curvas mostram caimento exponencial da umidade com o tempo. Observando os dados dos ensaios 1 e 2, em que há variação apenas da temperatura para uma camada de espuma de 0,65 cm, nota-se forte queda da umidade em temperatura mais alta utilizada nestes ensaios, isso ocorre por que em temperaturas mais elevadas a pressão de vapor de água contida no ar é reduzida, acelerando a perda de umidade (SEVERO, 2016).

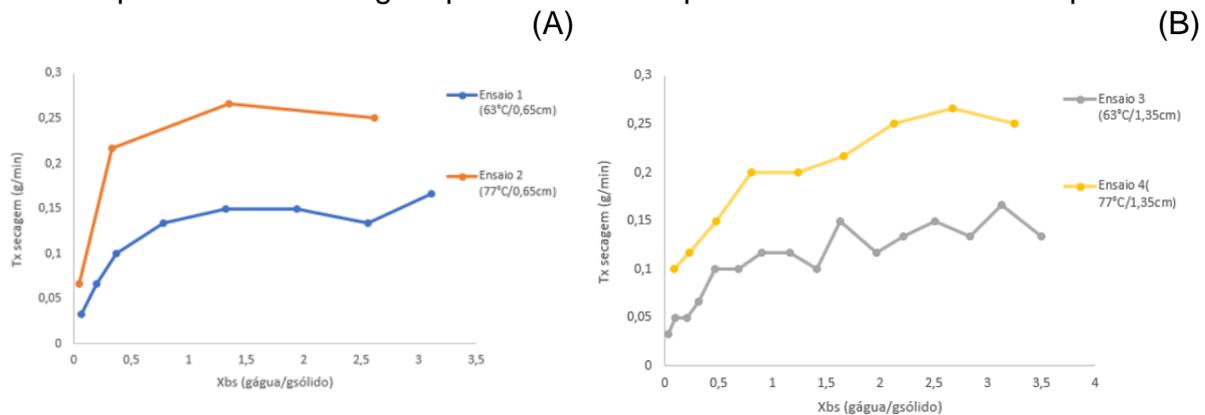
Analisando os dados dos ensaios 2 e 4, em que há variações apenas da espessura da camada de espuma para a temperatura de 77°C , verifica-se queda de umidade mais acentuada na menor espessura utilizada nestes ensaios o que é explicado pelo menor caminho que a água e o vapor de água precisam percorrer do interior à superfície.

Outra maneira de avaliar o processo da secagem é através das curvas de taxa de secagem *versus* o teor de umidade, que representam como a variação da secagem se relaciona com a umidade presente no sólido (MARTINS *et al.*, 2020). Como pode-se observar nos gráficos da figura 19, algumas curvas de taxa de secagem apresentaram variações ao longo do processo e não se observou um período de taxa

constante bem definido para a secagem da espuma da polpa de *Butia* spp. Entretanto, pode-se observar que a secagem ocorreu mais intensamente no período de taxa decrescente. Na fase final, com a diminuição da umidade, a taxa de secagem diminuiu, como esperado. No início da secagem a área superficial expandida e a estrutura porosa da espuma proporcionaram a remoção da água interna para a superfície externa de forma rápida e eficiente mantendo a umidade (VARHAN; ELMAS; KOÇ, 2019) e ao final da secagem a quantidade de água no interior é muito baixa, diminuindo a difusão da água para a superfície e as forças resistivas à transferência de massa são maiores do que a quantidade de água presente na superfície para vaporização (MARTINS *et al.*, 2020).

Observa-se que para mesma espessura de camada de espuma, temperaturas mais elevadas resultaram em maiores taxas de secagem ao longo de todo o processo (figura 19). Para mesma temperatura verificou-se que na fase inicial há uma tendência de maior taxa de secagem nas maiores espessuras de camada de espuma (figura 20) e infere-se que nas maiores espessuras há maior quantidade de água disponível e assim ocorrem taxas de secagem iniciais mais elevadas. Varhan; Elmas e Koç (2019) também verificaram que a maior taxa de secagem ocorreu na espuma de figo mais espessa, pois havia mais água e número de bolhas na espuma. (MARTINS *et al.*, 2020; VARHAN; ELMAS; KOÇ, 2019)

Figura 19 - Curvas de taxa de secagem de espuma de *Butia* spp. em diferentes temperaturas de secagem para mesmas espessuras de camada de espuma



(C)

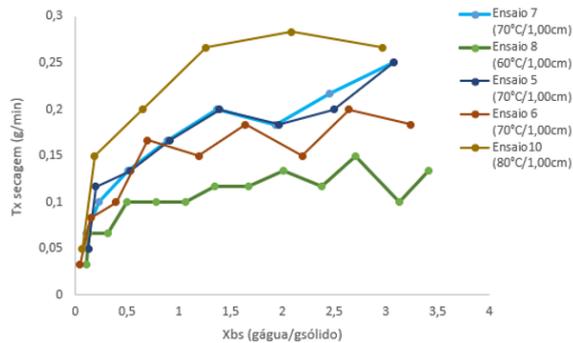
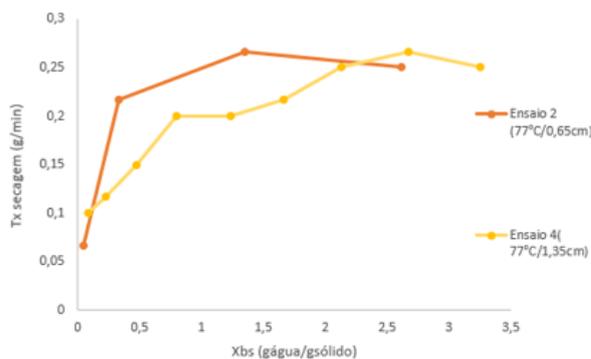
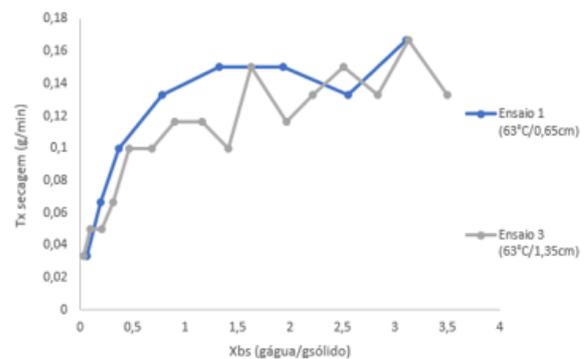


Figura 20 - Curvas de taxa de secagem de espuma de *Butia* spp. em diferentes espessuras de camada de espuma para mesmas temperaturas de secagem

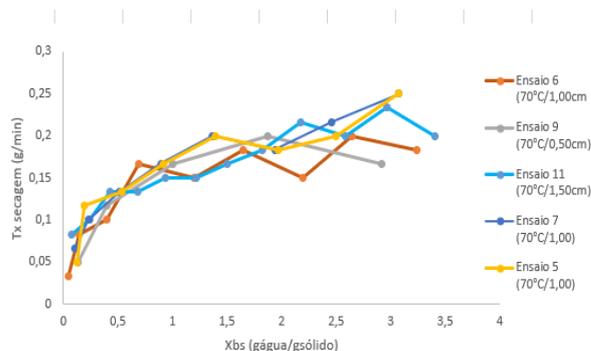
A)



B)



(C)



5.4 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ DA POLPA DE *Butia* spp.

Para a caracterização do pó da polpa de *Butia* spp. foi utilizado o pó produzido a partir das condições selecionadas no item 5.2.3. A caracterização foi realizada pela análise de cor (L^* , a^* , b^* , C , e H°), pH, sólidos solúveis totais, umidade, atividade de água, capacidade de retenção de água e solubilidade.

5.4.1 Cor

O pó da polpa de *Butia.spp* apresentou tonalidade avermelhada com maior luminosidade do que a polpa.

Conforme mostrado na tabela 13, L^* , a^* e b^* diferem entre as amostras ($>0,05$). Com relação a cor da espuma, verificou-se que ficou mais clara do que a polpa. A luminosidade (L^*) aumentou e o vermelho (a^*) e o amarelo (b^*) diminuíram. Estas alterações são atribuídas a adição da albumina e ao ar contido na espuma (SHAARI *et al.*, 2018). Resultado semelhante foi relatado por Branco *et al.* (2016) onde a espuma de uvaia (*Hexachlamys edulis*) produzida com 7 % (p/p) de albumina apresentou cor mais clara do que a produzida com 3,5 % (p/p) de albumina, 0,25 % (p/p) de carboximetilcelulose e 0,25 % (p/p) de goma xantana.

O processo de secagem da espuma conferiu ao pó coloração mais escura em relação à espuma e mais claro em relação a polpa (L^*), e aumentou o vermelho (a^*) e o amarelo (b^*). O tratamento térmico é capaz de provocar escurecimento nos alimentos devido a reações químicas, como a reação de Maillard, que é acelerada pelo calor (ORDOÑEZ, 2005). O efeito de escurecimento também pode ser atribuído a concentração de pigmentos pela remoção da água (PANATO, 2017), uma vez que os frutos de *Butia spp.* contêm carotenoides e antocianinas em sua composição (FONSECA, 2012) que conferem cor amarelo-alaranjado aos alimentos (FELLOWS, 2019).

Utilizando os valores de a^* e b^* foram calculados o ângulo hue (H°), que expressa a tonalidade da cor, e o croma (C), que se refere a cromaticidade ou intensidade da cor. O ângulo hue (H°) é expresso em graus e inicia no eixo $+a^*$, sendo que 0° graus corresponde a $+a^*$ (vermelho), 90° corresponde a $+b^*$ (amarelo), 180° corresponde a $-a^*$ (verde) e 270° corresponde a $-b^*$ (azul) (FONSECA, 2012). Os valores do ângulo hue foram de 1,42 para a polpa, 1,57 para a espuma e 1,44 para o pó, indicando que todos apresentam tonalidade avermelhada. O croma inicia no centro do diagrama de cromaticidade (zero), onde as cores são opacas e à medida que se afastam do centro se tornam mais vivas e intensas (MINOLTA, 2007). Os valores de croma (C), foram 59,59, 39,43 e 54,47 para polpa, espuma e pó, respectivamente, indicando que a polpa e o pó apresentam cor vermelha mais intensa do que a espuma.

Tabela 13 – Valores de L^* , a^* , b^* , cromas (C) e hue (H°) da polpa, da espuma e do pó de *Butia* spp.

Amostras	L^*	a^*	b^*	C	H°
	luminosidade	-verde +vermelho	-azul +amarelo	Croma	Hue
Polpa	67,30 ± 0,62 c	8,94 ± 0,79 a	58,92 ± 2,57 a	59,59	1,42
Espuma	87,01 ± 0,21 a	0,22 ± 0,15 c	39,43 ± 0,51 c	39,43	1,57
Pó	72,25 ± 1,06 b	7,23 ± 0,09 b	53,99 ± 0,26 b	54,47	1,44

Fonte: Autora (2021)

Resultados expressos em média de triplicata ± desvio padrão para L^* , a^* e b^* . C e H° foram calculados a partir das médias de L^* , a^* e b^* . Letras diferentes nas colunas indicam que, pelo teste de Tukey no nível de 5 % de significância, há diferença entre as médias.

5.4.2 pH

Os valores de pH estão relacionados com o teor de ácidos orgânicos presentes nos frutos, sendo que, maior concentração de ácidos orgânicos resulta em pH mais baixo (SGANZERLA, 2010) e a concentração destes ácidos nas frutas depende de fatores como espécie, solo e circunstâncias de estresse submetidas (SCHERER; RYBKA; GODOY, 2008).

Conforme mostrado na tabela 14, o pH das amostras foram diferentes entre si ($p > 0,05$), sendo que o pH da espuma (3,21) aumentou em relação ao da polpa (2,65) e este aumento se deve a adição da albumina, que possui pH alcalino ao redor de 7 e 8 (MINE, 1995). Soares (2009) também observou que o pH da espuma foi maior do que o da polpa de araçá-boi (*Eugenia stipitata*) devido a adição de albumina.

O processo de secagem elevou o pH de 3,21 na espuma para 3,25 no pó, podendo ser considerado equivalente pela diferença mínima apresentada. Segundo Pandith e Srivastava (2018) o calor e o tempo de secagem prolongado provocam a destruição de ácidos, o que resulta em aumento do pH.

Embora a albumina e o processo de secagem tenham elevado o pH, o pó ainda é considerado bastante ácido (<5,0), sendo fator positivo para inibir crescimento bacteriano (ORDÓÑEZ, 2005).

Tabela 14 – Valores de pH da polpa, da espuma e do pó da polpa de *Butia* spp.

Amostras	pH
Polpa	2,65 ± 0,01 c
Espuma	3,21 ± 0,01 b
Pó	3,25 ± 0,00 a

Fonte: Autora (2021)

Resultados expressos em média de triplicata ± desvio padrão.

Letras diferentes indicam que, pelo teste de Tukey no nível de 5 % de significância, há diferença entre as médias.

5.4.3 Sólidos solúveis totais (°Brix)

Conforme mostrado na tabela 15 os sólidos solúveis totais das amostras foram diferentes entre si ($p > 0,05$), sendo que a polpa, a espuma e o pó apresentaram 6 °Brix, 18 °Brix e 61 °Brix, respectivamente.

O aumento dos sólidos solúveis totais ocorreu devido a adição da albumina e da goma xantana e a concentração pela perda de água no processo de secagem. Soares (2009) identificou que os aditivos albumina, Super Liga Neutra® (açúcar, espessantes: goma guar, carboximetilcelulose e goma tara) e maltodextrina aumentaram o °Brix das espumas de araçá-boi e que o Emustab® (água, emulsificantes: monoglicerídeos de ácidos graxos destilados, sal de ácidos graxos, monoestearato de sorbitana e polioxietileno de monoestearato de sorbitana) aumentou, mas em menor proporção. Verificou também que os sólidos solúveis aumentavam conforme decorria o tempo de secagem, atingindo ao final do processo valores médios 10 vezes mais altos do que na polpa *in natura*.

Germano (2016) utilizou albumina para a formação da espuma de purê de banana verde (variedade Pacovan) e relatou aumento do teor de sólidos solúveis totais, com valores de 9,04 °Brix, 14,66 °Brix e 24,39 °Brix para as concentrações de albumina de 2,5 %, 5 % e 10 %, respectivamente. Filho (2012) verificou que os pós de manga Haden obtidos com adição de Super Liga Neutra® e Emustab® apresentaram entre 75 °Brix e 85 °Brix enquanto a polpa apresentou 14,43 °Brix.

Tabela 15 – Valores de sólidos solúveis totais, expressos em °Brix, da polpa, da espuma e do pó da polpa de *Butia* spp.

Amostras	Sólidos solúveis totais (°Brix)
Polpa	6 ± 0,01 c
Espuma	18 ± 0,01 b
Pó	61 ± 0,00 a

Fonte: Autora (2021).

Resultados expressos em média de triplicata ± desvio padrão. Letras diferentes indicam que, pelo teste de Tukey no nível de 5 % de significância, há diferença entre as médias.

5.4.4 Umidade e atividade de água

O pó da polpa de butiá apresentou umidade de $7,97 \pm 0,71$ %, e atividade de água de $0,206 \pm 0,004$, indicando que as condições de secagem aplicadas são suficientes para retirar água e garantir a estabilidade e a segurança microbiológica do produto.

Filho (2012) relatou que a umidade dos pós de manga Haden reduziu com o aumento da temperatura de secagem (50 °C, 60 °C e 70 °C) e com a diminuição da espessura da camada de espuma (1,50 cm, 1,00 cm e 0,50 cm), resultando em valores médios entre 5,75 % e 8,89 % de umidade. Conforme observado por Soares (2009), a concentração de albumina também influencia no resultado da umidade dos pós, onde as concentrações de 5 %, 10 %, 15 % e 20 % de albumina resultaram em 7,3 %, 7,4 %, 4,83 % e 6,98 % de umidade, respectivamente.

A atividade de água de 0,206 apresentada pelo pó da polpa de *Butia* spp. é favorável para o seu armazenamento. Em atividade de água abaixo de 0,60, praticamente qualquer atividade microbiana é inibida e abaixo de 0,25 a reação de Maillard praticamente não ocorre, somente a rancidez oxidativa é acelerada em atividade de água menor que 0,25 (RIBEIRO; SERAVALLI 2007). Conforme Fonseca (2012), os frutos da *B. odorata* colhidos em Tapes/RS apresentaram teores de lipídios entre 1,40 % e 2,41 %, Pereira (2011) encontrou 0,61 % de lipídeos em *B. capitata* de Pelotas/RS e Faria *et al.* (2008) relatou conteúdo de 2,60 % de lipídeos em *B. capitata* oriundos de Montes Claros/MG. Desta forma, infere-se que a oxidação lipídica pode ser um agente deteriorante do pó de *Butia* spp. De Cól *et al.* (2021) atribuiu à rancidez

oxidativa a principal causa da deterioração durante o armazenamento do pó de bacaba (*Oenocarpus bacaba*) obtido pelo método de secagem por camada de espuma, porém este fruto contém uma quantidade superior de lipídios (36,6 %) quando comparado ao *Butia* spp.

5.4.5 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água do pó da polpa de *Butia* spp. obtido nas condições de secagem otimizadas foi de $4,90 \pm 0,08$ g H₂O/g pó. Beltran *et al.* (2021) encontraram índice de retenção de água de 3,75 g H₂O/g de matéria seca em farinha de frutos da palmeira *Aiphanes aculeta*, da família *Arecaceae*, obtida pela secagem dos frutos a 60°C em estufa com circulação de ar. Panato (2017) verificou que farinhas de abóbora produzidas pelo método de camada de espuma tiveram capacidade de retenção de água de 7,5 e 6,9 g H₂O/g de sólido seco nas temperaturas de secagem de 45 °C e 65 °C, respectivamente, e atribuiu a menor retenção de água à farinha obtida na maior temperatura de secagem aos danos que as condições do processo podem ter causado na matriz alimentar. Gurak *et al.* (2014) avaliaram a capacidade de retenção de água dos pós dos frutos inteiros, da casca e do bagaço de jabuticaba e relataram capacidade de retenção de água de 2,63 g H₂O/g, 3,81 g H₂O/g e 4,28 g H₂O/g, respectivamente.

O conteúdo de fibras dos alimentos influencia na capacidade de retenção de água dos produtos (PORTE *et al.*, 2011) e os frutos de *Butia* spp. contêm alto teor de fibra, variando de 0,84 % a 4,89 % (HOFFMANN *et al.*, 2014).

Considerando os dados obtidos neste estudo para o pó da polpa de *Butia* spp., onde a capacidade de retenção de água é de 4,90 g H₂O /g de pó e que o produto apresenta umidade de 7,97 % e, portanto, sólidos de 92,03 %, tem-se que 100 g do pó pode incorporar 450,95 g de água, a temperatura ambiente.

A capacidade de retenção de água é uma propriedade que contribui para melhorar a textura e o rendimento de alimentos que necessitam de hidratação e retenção de umidade como bolos e panificados (PORTE *et al.*, 2011). Desta forma, o pó da polpa de *Butia* spp. representa boa aplicabilidade em produtos deste setor.

5.4.6 Solubilidade

O pó da polpa de *Butia* spp. apresentou $74,40 \pm 0,30$ % de solubilidade. A solubilidade é uma importante propriedade funcional dos alimentos em pó e está relacionada com a quantidade de sólidos solúveis dissolvidos (FERREIRA *et al.*, 2015). A boa solubilidade do pó da polpa de *Butia* spp. obtida pelo método de secagem por camada espuma tem relação com a solubilidade do agente espumante utilizado, albumina, e com a estrutura da espuma que confere um pó mais poroso e com maior área superficial disponível para a interação com a água (SHAARI *et al.*, 2018).

De Cól *et al.* (2021) observou que a formação de espuma resultou em pós de bacaba (*Oenocarpus bacaba*) com melhor solubilidade (média 38 %) comparado com o pó da polpa não espumada (3,09 %). Shaari *et al.* (2018) relataram solubilidade de 84,20 % em pós de abacaxi secos por *spray-dryer* usando maltodextrina (10 % p/p) e entre 55,10 % e 64,05 % quando secos pelo método de camada de espuma utilizando maltodextrina (5 % p/p) e albumina (entre 5 % e 20 % p/p) e atribuíram os resultados à solubilidade da maltodextrina e à maior expansão da espuma, promovida pela maior quantidade de albumina.

Severo (2016) verificou que a solubilidade do pó de banana produzido pelo método de secagem por camada de espuma foi menor do que a solubilidade da albumina utilizada, 76,18 % e 98,41 %, respectivamente, e atribuiu esta redução à desnaturação da proteína pelo calor, a composição da banana e a interação dos componentes da fruta com a albumina.

6 CONCLUSÃO

A secagem pelo método de camada de espuma se apresentou como uma alternativa para a obtenção do pó da polpa de *Butia* spp. Dentre as quantidades de albumina (2 % a 10 %), goma xantana (0 % a 0,5 %) e tempo de batimento (10 min a 20 min) testadas, a análise de superfície de resposta indicou que 7 % de albumina, 0,25 % goma xantana e 10 min de batimento são as condições ótimas para a obtenção de espuma com densidade e estabilidade adequadas para a secagem. Dentre as espessuras de camada de espuma (0,50 cm a 1,50 cm) e temperaturas (60 °C a 80 °C) testadas, a análise de superfície de resposta da produtividade (g/h) e do teor de vitamina C, indicaram 80 °C e 0,50 cm como as condições ótimas para a secagem da polpa espumada.

O pó obtido a partir das condições ótimas de formação de espuma e secagem apresentou produtividade de 3,16 g/h, 33,90 mg/100g de ácido ascórbico e cor de tonalidade avermelhada mais clara do que a polpa. O pH ácido (3,25), o baixo teor de umidade (7,97 %) e de atividade de água (0,206) conferem estabilidade e segurança microbiológica para o armazenamento. A capacidade de retenção de água de 4,90 g H₂O /g de pó é compatível com a aplicação como ingrediente em produtos que necessitam de hidratação e retenção de umidade, como em panificados. O pó também apresentou boa solubilidade (74,40 %) e sólidos solúveis totais de 61 °Brix.

As temperaturas mais elevadas e as menores espessuras de camada de espuma proporcionaram secagens mais rápidas e o modelo de Page modificado foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, podendo ser utilizado para representar a cinética de secagem da polpa de *Butia* spp. pelo método de camada de espuma.

O *Butia* spp. é um fruto bastante perecível e de ocorrência regional. A polpa em pó obtida pelo método de secagem por camada de espuma possui características que lhe conferem estabilidade para o transporte e armazenamento em temperatura ambiente e pode ser utilizado na industrialização de alimentos em diferentes segmentos, conferindo cor, sabor e aroma característicos da fruta.

REFERÊNCIAS

- ABD EL-SALAM, E.A.ES.; ALI, A.M.; HAMMAD, K.S. Foaming process optimization, drying kinetics and quality of foam mat dried papaya pulp. **Journal of Food Science Technology**, v. 58, n. 4, p. 1449-1461, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04657-2>. Acesso em: 8 set. 2020.
- ANESIADIS, N.; CLUETT, W. R.; MAHADEVAN, R. Dynamic metabolic engineering for increasing bioprocess productivity. **Metabolic Engineering**, v. 10, n. 5, p. 255-266, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2008.06.004>. Acesso em: 27 dez. 2021.
- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00425-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00425-9). Acesso em: 27 jun. 2021.
- ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. do N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 20, e2016152, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15216>. Acesso em: 23 out. 2021.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 4ª ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008.
- BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D. B.; COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 19, n. 12, p. 1203-1208, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1203-1208>. Acesso em: 3 jul. 2021.
- BECCARI, O. **Il genere Cocos Linn. e le palme affini**. Firenze: Istituto Agricolo Coloniale Italiano, 1916.
- BELTRAN, L. B.; SOUZA, A. C.; MELONI, C. E. P.; MAGIERO, P. E.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Avaliação da capacidade antioxidante e propriedades tecnológicas da farinha do fruto da Palmeira *Aiphanes Aculeata*. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 36868-36884, apr 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-243>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- BESKOW, G. T.; HOFFMANN, J. F.; TEIXEIRA, A. M.; FACHINELLO, J. C.; CHAVES, F. C.; ROMBALDI, C. V. Bioactive and yield potential of jelly palms (*Butia odorata* Barb. Rodr.). **Food Chemistry**. v. 172, p. 699-704, 1º abr. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.111>. Acesso em: 7 jun. 2020.
- BIKERMAN, J. J. **Foams**. New York: Springer-Verlag, 1973.
- BRAGANÇA, Q. da S. R. **Composição Centesimal, Bioativos e Capacidade Antioxidante de *Butia capitata***. 2017. 28 f. Monografia (Graduação em nutrição).

Departamento de Nutrição. Instituto de Ciência da Vida. Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, 2017.

BRANCO, I. G.; KIKUCHI, T. T.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MORAES, I. C. F.; HAMINIUK, C. W. I. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **International Journal of Food Science and Technology**. v. 51, n. 7, p. 1703-1710, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13145>. Acesso em: 4 jul. 2021.

BRAR, A.S. **Optimization of Foam-Mat Drying Process for Peaches**. 2018. 94f. (Dissertação) Mestrado em Ciências Aplicadas em Engenharia. Universidade de Guelph, Ontário, Canadá, 2018

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 65, de 4 de outubro de 2007a**. Dispõe sobre o uso de aditivos alimentares para geleias e dá outras providências. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/%282%29RDC_65_2007_CO MP.pdf/b635cce6-8d77-4997-8737-4a33f9e08421. Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 4, de 15 de janeiro de 2007b**. Aprovar o Regulamento Técnico sobre “Atribuição de Aditivos e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 13: Molhos e Condimentos. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/%283%29RDC_04_2007_CO MP.pdf/db18b718-db42-4dda-b7f7-e27b66c64325. Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 56, de 4 de novembro de 2011a**. Aprova o uso de aditivos alimentares com suas respectivas funções e limites máximos para queijos *petit suisse* comercializados no país. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/4020331/RDC_56_2011_.pdf/9305ed89-a680-4c3a-baee-be5b28ab1161. Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 65, de 29 de novembro de 2011b**. Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para fabricação de cervejas. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/%282%29RDC_65_2007_CO MP.pdf/b635cce6-8d77-4997-8737-4a33f9e08421. Acesso em: 13 jul. 2021.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018. Estabelece, os parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e a listagem das frutas e demais quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade já fixados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 194, p. 23-33, 8 outubro 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 272, de 14 de março de 2019**. Estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos. Disponível em:

http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_272_2005_.pdf/40ddb30-4939-403e-a9d1-fbab47ffc5bb. Acesso em: 13 jul. 2021.

BRYKSA, B. C.; YADA, R. Y. Bioquímica de Alimentos. *In*: CAMPBELL-PLATT, G. (editor). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Tradução: Sueli R. Coelho e Soraya I. De Oliveira. Barueri/SP: Manole, 2015. p. 57-85.

CARLESSO, V. de O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F. Da; DETMANN, E. Avaliação de modelos de secagem em camada fina de sementes de maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina/PR, v. 29, n. 2, p. 28-37, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200005>. Acesso em: 4 jul. 2021.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51p.

COSTA, E. C. da. **Secagem Industrial**. São Paulo: Blucher, 2007.

CROSA, M.J.; BURZACO, P.; IRISITY, M.; GIOSCIA, D.; SOSA, J.; AYRES, C. Valorización del fruto y su procesamiento. *In*: BETANCURT, P., CROSA, M.J. **Valorización de frutos nativos como forma de promover el desarrollo local: aprovechamiento agroalimentario del butiá en Rocha**. Montevideo, n.57, p. 25-40, Diciembre, 2014

CRUZ, W. F. DA. **Obtenção de polpa de goiaba (*Psidium guajava L.*) em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2013, 78 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

DABESTANI, M.; YEGANEHZAD, S. Effect of Persian gum and Xanthan gum on Foaming Properties and Stability of Pasteurized Fresh Egg White Foam. **Food Hydrocolloids**. v. 87, p. 550-560, February 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.030>. Acesso em: 12 maio 2021.

DAL MAGRO, N. G.; COELHO, S. R. M.; HAIDA, K. S.; BERTÉ, S. D.; MORAES, S. S. de. Comparação físico-química de frutos congelados de *Butia eriosphata* (Mart.) Becc. do Paraná e Santa Catarina – Brasil. **Revista Varia Scientia**, v.06, n.11, p.33-42, ago. 2006.

DAMODARAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. p. 239-353.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. *Journal of Food Engineering*. v. 69, n. 2, p. 161-165, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.08.009>. Acesso em: 3 jul. 2021.

DE CÓL, C. de; TISCHER, B; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Foam-mat drying of bacaba (*Oenocarpus bacaba*): Process characterization, physicochemical properties, and

antioxidante activity. **Food and Bioproducts Processing**. v. 126, p. 23-31, March, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.12.004>. Acesso em: 23 out. 2021.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

ELLERT-PEREIRA, P. E.; ESLABÃO, M. P.; BARBIERI, R. L.; HEIDEN, G. Avaliação da conservação *in situ* de *Butia* (Aceraceae) no Rio Grande do Sul. *In: Encontro de Pós-graduação UFPEL*, 17, 2015, Pelotas. **Anais**. Disponível em: http://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2015/CA_03514.pdf. Acesso em: 6 abr. 2019.

ESLABÃO M. P.; PEREIRA, P. E. E.; BARBIERI, R. L.; HEIDEN, G. **Mapeamento da distribuição geográfica de butiá como subsídio para a conservação de recursos genéticos**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2016. 52p.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

FALADE, K. O.; OKOCHA, J. O. Foam-Mat Drying of Plantain and Cooking Banana (*Musa* spp.). **Food and Bioprocess Technology**. v. 5, n. 4, p. 1173-1180, May 2012. Disponível em: 10.1007/s11947-010-0354-0. Acesso em: 19 out. 2019.

FALCÃO, D. A. **Estudo da cinética da secagem do mirtilo: influência da desidratação osmótica**. 2015. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Novo Hamburgo, 2015.

FAO/WHO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Compendium of food additive specifications**. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), 82nd meeting 2016. FAO JECFA Monographs 19. Rome, 2016.

FARACO, P. R.; BARBIERI, R. L.; ALVES, F. da S. *Butia lallemantii*: ameaças às populações naturais no município de Alegrete, Rio Grande do Sul. *In: Encontro Internacional da Rota dos Butiazais*, 2, 2018, Pelotas. **Anais**, Porto Alegre: UFGRS, 2019. p 19-22.

FARIA, J.P.; ALMEIDA, F.; SILVA, L.C.R da.; VIEIRA, R.F.; AGOSTINI-COSTA, T. da S. Caracterização da polpa do coquinho-azedo (*Butia capitata* var *capitata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 827- 829, set/2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000300045>. Acesso em: 4 fev. 2020.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. de M.; LIMA, F. C. dos S.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Drying and characterization of myrtle Pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 858-864, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p858-864>. Acesso em: 4 jul. 2021.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

FERNANDES, T. K. da S. **Secagem em camada de espuma da polpa de cajá.** 2010. 172 f. Dissertação (Mestrado em Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

FERREIRA, M. S. L.; SANTOS, M. C. P.; MORO, T. M. A.; BASTO, G. J.; ANDRADE, R. M. S.; GONÇALVES, É. C. B. A. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n.2, p.822-830, February 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1061-4>. Acesso em: 11 jul. 2021.

FILHO, E. D. da S. **Obtenção e avaliação da qualidade da polpa da manga CV. Haden em pó, pelo método de secagem em camada de espuma.** 2012. 190 f. Tese (Doutorado em Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pró-reitora de Pós-graduação e pesquisa. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

FILHO, F. M. Produção de polissacarídeos. *In*: LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos.** São Paulo: Blucher. v. 3, 2001.

FONSECA, L. X. **Caracterização de frutos de butiazeiro (*Butia odorata* Barb. Rodr.) Noblick & Lorenzi e estabilidade de seus compostos bioativos na elaboração e armazenamento de geleias.** 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Programa de Pós-graduação em ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das operações unitárias.** 2a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 670 p.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos.** 9ª ed. São Paulo: Editora Atheneu, 1999.

FREITAS, B. S. M. de; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M. da; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. de. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p430-435>. Acesso em: 20 jun. 2021.

FURTADO, G. de F.; SILVA, F. S. da; PORTO, A. G.; SANTOS, P. dos. Secagem de polpa de ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p. 9-14, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v12n1p9-14>. Acesso em: 4 abr. 2019.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Cinética de degradação do ácido ascórbico em ameixas liofilizadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23,

supl. p. 66-70, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612003000400013>. Acesso em: 20 jun. 2021.

GALDINO, P. O.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. De; QUEIROZ, A. J. de M.; GALDINO, P. O. Drying kinetics of atemoya Pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 672-677, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n7p672-677>. Acesso em: 4 jul. 2021.

GAVA, A. F. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Nobel, 2002.

GERMANO, L. M. L. P. **Métodos alternativos de secagem de banana verde**. 2016. 93 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2016.

GIEHL, E.L.H. (coordenador) 2021. **Flora digital do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Disponível em: https://floradigital.ufsc.br/open_sp.php?img=2851. Acesso em: 11 de jul. de 2021.

GURAK, P. D.; DE BONA, G. S.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Jaboticaba Pomace Powder Obtained as a Co-product of Juice Extraction: A Comparative Study of Powder Obtained from Peel and Whole Fruit. **Food Research International**. v. 62, p. 786-792, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.042>. Acesso em: 23 out. 2021.

GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata L.*) em camada de espuma: desempenho do processo e características do produto**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Departamento de Engenharia Química. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN 2014.

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. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1020359>. Acesso em: 3 jul. 2021.

HENDERSON, S.M.; S. PABIS. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

HERTZENDORF, M. S.; MOSHY, R. J.; SELTZER, E. Foam drying in the food industry. **C R C Critical Reviews in Food Technology**, v.1, n. 1, p. 25-70, 1970. <http://dx.doi.org/10.1080/10408397009527099>. Acesso em: 3 jul. 2021.

HOFFMANN, J. F.; BARBIERI, R. L.; ROMBALDI, C. V.; CHAVES, F. C. *Butia spp.* (Arecaceae): An overview. **Scientia Horticulturae**. v. 179, p. 122-131, November 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.08.011>. Acesso em: 3 nov. 2021.

HOFFMANN, J. H.; ZANDONÁ, G. P.; SANTOS, P. S. DOS; DALLMANN, C. M.; MADRUGA, F. B.; ROMBALDI, C. V.; CHAVES, F. C. Stability of Biactive Compounds en Butiá (*Butia odorata*) Fruit Pulp and Nectar. **Food Chemistry**, v. 237,

p. 638-644, 15 dez. 2017. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.154>. Acesso em: 24 out 2021.

JORGE, A. **Avaliação comparativa entre processos de secagem na produção de tomate em pó**. 2014. 68f. Dissertação (Mestrado em Gestão Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa. 2014.

KAMATH, S.; HUPPERTZ, T.; HOULIHAN, A. V.; DEETH, H. C. The influence of temperature on the foaming of milk. **International Dairy Journal**. v18, n° 10-11, p. 994–1002, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.05.001>. Acesso em: 14 jul. 2021.

KARIM, A.A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola L.*) purée: Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**. v. 64, n. 3, p. 337-343, 16 fev. 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00119-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00119-8). Acesso em: 8 maio 2021.

KATZBAUER, B. Properties and applications of xanthan gum. **Polymer Degradation and Stability**, v. 59, n. 1-3, p. 81-84, 3 January 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(97\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(97)00180-8). Acesso em: 2 abr. 2021.

KINSELLA, J. E.; MELACHOURIS, N. Functional properties of proteins in foods: a survey. **C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 7, n. 3, p. 219-280, 1976. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408397609527208>. Acesso em: 13 jul. 2021.

KLEIN, M. P.; SANT'ANA, V.; HERTZ, P. F.; RODRIGUES, R. C.; NINOW, J. L. Kinetics and Thermodynamics of Thermal Inactivation of β -galactosidase from *Aspergillus oryzae*. Brazilian **Archives of Biology and Technology**, v. 61, e18160489, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018160489>. Acesso em: 15 set. 2021.

KÖHLER, M.; BRACK, P. Frutas nativas no Rio Grande do Sul: cultivando e valorizando a diversidade. **Agriculturas**, v. 13, n. 2, junho 2016.

KRUMREICH, F. D.; CORRÊA, A. P. A.; SCHNEID, I.; SILVA, G. P.; SGANZERLA, M. Geleia de butiá: caracterização físico-química e avaliação sensorial. In: XIX Congresso de Iniciação Científica e XII Encontro de Pós-graduação da UFPEL, 2010. **Anais**. Disponível em: https://www2.ufpel.edu.br/cic/2010/cd/pdf/CA/CA_00677.pdf. Acesso em: 31 jul. 2021.

LAVARDA, L. **Determinação da cinética de degradação térmica da vitamina C em polpa de acerola via aquecimento ôhmico**. 2011, 44 f. Monografia (graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química. Escola de Engenharia. Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LEE, S. H.; LABUZA, T. P. Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. **Journal of Food Science**, v. 40, p. 370-373, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb02204.x>. Acesso em: 27 jun. 2021.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ie50137a021>. Acesso em: 27 jul. 2021.

LOMAKINA, K.; MÍKOVÁ, K. A Study of the factors affecting the foaming properties of egg white – a review. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 24, n. 3, p. 110–118, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.17221/3305-CJFS>. Acesso em: 3 maio 2021.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00062-3](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3). Acesso em: 13 ago. 2021.

MAHARAJ, V.; SANKAT, C. K. Quality changes in dehydrated dasheen leaves: effects of blanching pre-treatments and drying conditions. **Food Research International**. v.29, n. 5-6, p. 563-568, June-August 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(96\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(96)00021-X). Acesso em: 20 jun. 2021.

MARTINS, J. S.; MELO, E. M.; FALLAVENA, L. P.; HERTZ, P. F. Avaliação nutricional de Butiá (*Butia yatai*) processado. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 26, p. 1-7, e019012, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/san.v26i0.8654389>. Acesso em: 28 maio 2020.

MARTINS, F. P.; BOSCH NETO, J. C.; SILVA, A. J. O.; SIQUEIRA, A. M. DE O. Secagem: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Science**, v. 6, n. 4, p. 600-607i, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss4pp0600-0607i>. Acesso em: 15 dez. 2021.

MCGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. **HortScience** v. 27, n. 12, p. 1254–1255, 1992. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>. Acesso em: 16 dez. 2021.

MELONI, P. L. S. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2003. 87 p.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology: An International Journal**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>. Acesso em: 3 jul. 2021.

MINE, Y. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, n. 7, p. 225–232, jul. 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89083-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89083-4). Acesso em: 15 out. 2021.

MINOLTA. **Precise Color Communication**: color control from perception to instrumentation. Japão: Konica Minolta Sensing Inc., 2007.

MISTURA, C. C. **Caracterização de recursos genéticos de *Butia odorata* no Bioma Pampa**. 2013. 80f. Tese (Doutorado em Fitomelhoramento) - Programa de Pós-graduação em Agronomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

MLEKO, S.; KRISTINSSON, H. G.; LIANG, Y.; GUSTAW, W. Rheological properties of foams generated from egg albumin after pH treatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 5, p. 908–914, June, 2007. Disponível em: [10.1016/j.lwt.2006.04.007](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.04.007). Acesso em: 12 jul. 2021.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-mat freeze drying of egg white and mathematical modeling part I optimization of egg white foam stability. **Drying Technology: An International Journal**. v. 26, n. 4, p. 508-512, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07373930801929581>. Acesso em: 16 maio 2021.

NAKAMURA R.; SATO Y. Studies on the foaming property of the chicken egg white. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 28, n. 8, p. 524–534, 1º August 1964. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00021369.1964.10858270>. Acesso em: 26 mar. 2021.

NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 88, p. 80–86, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>. Acesso em: 1 ago. 2021.

ORDÓÑEZ, J. A. (org.) **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. Vol. 1.

OVERHULTS, D. G.; WHITE, G. M.; HAMILTON, H. E.; ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**. v. 16, n. 1, p. 112–113, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.37459>. Acesso em: 17 jul. 2021.

PACHECO, F.T.; MELLO, R. S.P. Micro habitats de regeneração do *Butia odorata* na Região dos Butiazais de Tapes/RS, Brasil. *In: Encontro Internacional da Rota dos Butiazais*, 2, 2018, Pelotas. **Anais**, Porto Alegre: UFRGS, 2019. p 46-53.

PAGE, G.E., **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Purdue University, USA (1949)

PANATO, K. **Efeito da secagem convectiva e por leito de espuma sobre as propriedades físico-químicas e tecnológicas de purê de abóbora (*Cucurbita maxima* Duch. X *Cucurbita moschata* Duch. var. ‘Tetsukabuto’)**. 2017. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PANDITH, J. A.; SRIVASTAVA, A. K. Induction heating assisted foam mat drying of papaya pulp: drying kinetics, drying modeling, and effects on quality attributes.

Agricultural Engineering International: CIGR Journal, v. 20, n. 2, p. 206-215, 2018.

PEREIRA, M. C. **Avaliação de compostos bioativos em frutos nativos do Rio Grande do Sul**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PEREIRA, M. J. de V. **Contribuição ao estudo de polifenoloxidase e ascorbato oxidase de polpa de Passiflora edulis (maracujá-amarelo) visando o processamento industrial de suco**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-graduação em Biotecnologia. Instituto de Química. Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2012.

PORTE, A.; SILVA, E. F. da; ALMEIDA, V. D. dos S. de; SILVA, T. X. da; PORTE, L. H. M. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita* sp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 1, p. 91-96, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n1p91-96>. Acesso em: 11 jul. 2021.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: drying kinetics and effect on quality attributes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, e12295, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12295>. Acesso em: 20 jul. 2021.

RAHARITSIFA, N.; GENOVESE, D. B.; RATTI, C. Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 3, p. 142-151, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15627.x>. Acesso em: 17 maio 2021.

RAIKOS, V.; CAMPBELL, L.; STEPHEN, R. E. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. **Food Research International**. v. 40, n. 3, p. 347-355, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.10.008>. Acesso em: 16 jun. 2021.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R. VISWANATHAN, R.; PARVATHI, K.; RAGHAVAN, G. S. V.; ORSAT, V. Thin Layer Drying Study on Foamed Mango Pulp. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript**, v. 9, March, 2007.

RATTI, C.; KUDRA, T. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. **Drying Technology: An International Journal**, v. 24, n. 9, p. 1101-1108, 2006. <https://doi.org/10.1080/07373930600778213>. Acesso em: 18 jul. 2020.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E.A.G. **Química de alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

RIO GRANDE DO SUL, **Decreto nº 52.109/2014, de 1º de dezembro de 2014**. Declara as espécies da flora nativa ameaçadas de extinção no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/DEC%2052.109.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2021.

RIVAS, M.; BARBIERI, R. L. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do butiá**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2014. 59p

RIVAS, M.; BARBIERI, R. L. **Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick Butiá, Butiazeiro**. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2018. 24p.

RIVAS, M.; BARILANI, A. Diversidad, potencial productivo y reproductivo de los palmares de *Butia capitata* (Mart.) Becc. de Uruguay. **Agrociência**, v.8, nº 1, p.11-20, 2004.

ROSELL, C. M.; SANTOS, E.; COLLAR, C. Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. **Food Research International**, v. 42, n. 1, p. 176-184, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.003>. Acesso em: 27 ago. 2021.

SANGAMITHRA A., VENKATACHALAM, S.; JOHN, S. G.; KUPPUSWAMY, K. Foam Mat Drying of Food Materials: A Review. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 39, n. 6, p. 3165–3174, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12421>. Acesso em: 2 nov. 2020.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **LWT – Food Science and Technology**. v. 37, n. 5, p. 517-525, August 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00132-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00132-4). Acesso em: 17 jul. 2021.

SANT'ANNA, V.; CASSINI, A. S.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Kinetic modeling, total phenolic content and colour changes of mango peels during hot air drying. **Latin American Applied Research**, v. 44, n. 4, p. 301-306, 2014. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0327-07932014000400004&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 16 ago. 2021.

SANTO, E. F. do E.; LIMA, L. K. F de; TORRES, A. P. C.; OLIVEIRA, G. de; PONSANO, E. H. G. Comparison between freeze and spray drying to obtain powder *Rubrivivax gelatinosus* biomass. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 47-51, Jan-Mar 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000008>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SCHERER, R.; RYBKA, A. C. P.; GODOY, H. T. Determinação simultânea dos ácidos orgânicos tartárico, málico, ascórbico e cítrico em polpas de acerola, açaí e caju e avaliação da estabilidade em sucos de caju. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1137-1140, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000500039>. Acesso em: 9 jul. 2021.

SCHLINDWEIN, G.; TONIETTO, A.; ABICHEQUER, A. D.; AZAMBUJA, A. DA C.; LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K. Pindo Palm fruit yield and its relationship with edaphic factors in natural populations in Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 47, n.

2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151371>. Acesso em: 3 abr. 2019.

SCHWARTZ, E.; FACHINELLO, J. C.; BARBIERI, R. L.; SILVA, J. B. da. Avaliação de populações de *Butia capitata* de Santa Vitória do Palmar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, SP, v. 32, n. 3, p. 736-745, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000089>. Acesso em: 24 out. 2021.

SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, A. M.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p. 33–43. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.016>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SEVERO, L. S. **Obtenção de polpa de banana em pó pelo método de secagem em camada de espuma**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado Produtos de Origem Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Departamento de Tecnologia em Alimentos. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SGANZERLA, M. **Caracterização físico-química e capacidade antioxidante do butiá**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas

SHAARI, N. A.; SULAIMAN, R.; RAHMAN, R. A.; BAKAR, J. Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: effect of whipping time and egg albumen concentration. **Journal Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 2, e13467, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13467>. Acesso em: 24 out. 2021.

SILVA, A. S.; GURJÃO, K. C. de O.; ALMEIDA, F. de A. C.; BRUNO, R. de L. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000600032>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SILVA, J. A. **Tópico de tecnologia dos alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 2000.

SILVA, L. A. da; KAROW, M. F.; ASSIS, L. M. de; SILVA, M. T. da; ZAICOVSKI, C. B. Efeito do processamento de geleia de butiá no teor de carotenoides totais. In: SIMPÓSIO DE ALIMENTOS, 8, 2013, Passo Fundo, RS, **Anais**, Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2013. Disponível em: https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/simposio-sial-anais/2013/tecnologia/t048.pdf. Acesso em: 31 de jul. de 2021.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leite de espuma**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2009.

SOARES, K. P. **O Gênero *Butia* (Becc.) Becc. (Arecaceae) no Rio Grande do Sul com ênfase nos aspectos ecológicos e silviculturais de *Butia yatay* (Mart.) Becc. e *Butia witeckii* K. Soares & S. Longhi.** 2013. 142 f. Dissertação (Mestrado em Concentração em Silvicultura) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Centro de Ciências Rurais. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SOUZA, A.G; FASSINA, A.C; SARAIVA, F.R.S; SOUZA, L. Caracterização físico-química de frutos nativos da região sul do Brasil. **Evidência**, v. 18, n. 1, p. 81-94, jun. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18593/eba.v18i1.16546>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SRAMEK, M.; SCHWEIGGERT, R. M.; KAMPEN, A. V.; CARLE, R.; KOHLUS, R. Preparation of High-Grade Powders from Tomato Paste Using a Vacuum Foam Drying Method. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12965>. Acesso em: 26 jul. 2021.

SUSANTI, D. Y.; SEDIAWAN, W. B.; FAHRURROZI, M.; HIDAYAT, M. Foam-mat drying in the encapsulation of red sorghum extract: Effects of xanthan gum addition on foam properties and drying kinetics. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 4, p. 270-279, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.02.007>. Acesso em: 16 ago. 2021.

TONIETTO, A.; SCHLINDWEIN, G.; TONIETTO, S. M (orgs). **Usos e potencialidades do butiazeiro.** Circular Técnica nº 26. Porto Alegre: Fepagro, 2009. 28p.

VARHAN, E.; ELMAS, F.; KOÇ, M. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, p. 1–13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13022>. Acesso em: 13 jul. 2021.

VERMA, L. R.; BUCKLIN, R. A.; ENDAN, J. B.; WRATTEN, F. T. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 1, p. 296-301, 1985. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/2013.32245>. Acesso em: 20 jul. 2021.

VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. da S.; TEIXEIRA, L. J. Q. SARAIVA, S. H. Efeito da temperatura na cinética de secagem em leito de espuma e na degradação da antocianina em morango. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 2, e2018221, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.22118>. Acesso em: 16 ago. 2021.

VLIET, T. V.; WALSTRA, P. Sistemas dispersos: considerações básicas. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. p. 465-536.

WINCK, S. (Org.) **Tecnologia de Alimentos**. Porto Alegre: Sagah, 2016.

WOLFF, L. F.; WEGNER, J.; HEIDEN, G. **Butiazeiros como flora apícola para produção de mel na região sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2016. 42 p.

YAGCIOGLU, K.; DEGIRMENCIOGLU, A.; CAGATAY, F. Drying characteristics of laurel leaves under different drying conditions. *In: 7th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy*. Ege University. 26 a 27 My, Adana, Türkiye 1999.

YALDÝZ, O.; ERTEKÝN C. Thin layer solar drying of some vegetables. **Drying Technology**, v. 19, n. 3-4, p. 583-597, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/DRT-100103936>. Acesso em: 17 out. 2021.

ZANONI, B.; PERI, C.; NANI, R.; LAVELLI, V. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. **Food Research International**, v. 31, N. 5, p. 395-401, jun. 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(98\)00102-1](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(98)00102-1). Acesso em: 16 jun. 2021.

ZEMPULSKI, M. F. S.; ZEMPULSKI, L. N. **Equipamentos e processos de secagem**. Instituto de Tecnologia do Paraná. Serviço de Brasileiro de Respostas Técnicas. Agosto, 2007.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coordenadores). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ŻMUDZIŃSKI, D.; PTASZEK, P.; KRUK, J.; KACZMARCZYK, K.; ROŻNOWSKI, W.; BERSKI, W.; PTASZEK, A.; GRZESIK, M. The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins. **Journal of Food Engineering**, v. 121, p. 128-134, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.020>. Acesso em: 12 maio 2021.