



PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ALIMENTOS E NUTRIÇÃO - PPGAN
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UNIRIO
CENTRO E CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS

CARLOS EDUARDO DE FARIA CARDOSO

**EFEITOS DA DESIDRATAÇÃO PELO MÉTODO DE CAMADA DE ESPUMA
(*FOAM MAT DRYING*) NOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E
TECNOLÓGICOS DE FRUTAS TROPICAIS**

EFFECTS OF DEHYDRATION BY THE FOAM MAT DRYING METHOD ON THE
PHYSICOCHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF TROPICAL
FRUIT

Rio de Janeiro

2023

CARLOS EDUARDO DE FARIA CARDOSO

Efeitos da desidratação pelo método de camada de espuma (*foam mat drying*) nos parâmetros físico-químicos e tecnológicos de frutas tropicais

Effects of dehydration by the foam mat drying method on the physicochemical and technological parameters of tropical fruit

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN), da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Orientador (a): Prof.^o. Dr.^o. Anderson Junger Teodoro

Coorientador (a): Prof.^a. Dr.^a. Francine Albernaz Teixeira Fonseca Lobo

Rio de Janeiro

2023

CARLOS EDUARDO DE FARIA CARDOSO

Efeitos da desidratação pelo método de camada de espuma (*foam mat drying*) nos parâmetros físico-químicos e tecnológicos de frutas tropicais

Effects of dehydration by the foam mat drying method on the physicochemical and technological parameters of tropical fruit

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN), da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Alimentos e Nutrição.

Aprovado em: 04/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof.º. Dr.º. Anderson Junger Teodoro (PPGAN)
Presidente e Orientador

Prof.ª. Dr.ª. Francine Albernaz Teixeira Fonseca Lobo
Co-orientadora

Prof.º. Dr.º. Otniel Freitas Silva (EMBRAPA/ PPGAN)
Membro interno ao PPGAN

Prof.ª. Dr.ª. Josiane Roberto Domingues (UFF)
Membro externo ao PPGAN



Ata_Defesa_Dissertação_Nº82_Carlos Eduardo Cardoso

Data e Hora de Criação: 05/04/2023 às 14:46:08

Documentos que originaram esse envelope:

- Ata_defesa_Dissertação_Nº82_Carlos Eduardo Cardoso.doc (Documento Microsoft Word) - 1 página(s)



Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: a44b14ea7a6d194c154947e05b70e71c52c23d5c74d14a00ac775f55c09535

[SHA512]: 41295c826785b85791010164737c7cfd25fa71310168d4a57b9b08e498725bc5651eba5db364a96c93457d523213e307aaba22a903d55d94a2d802597a5c653

Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



ASSINADO - Anderson Junger Teodoro (atteodoro@gmail.com)

Data/Hora: 05/04/2023 - 15:23:24, IP: 200.156.102.49, Geolocalização: [-22.8884, -43.1147]

[SHA256]: 3eca7e82757b3b6d78225c87fb955ef146e26a90717d638fa0c97363d278ecf7

Anderson Junger Teodoro



ASSINADO - Josiane Roberto Domingues (jrdomingues@id.uff.br)

Data/Hora: 05/04/2023 - 16:40:42, IP: 200.156.110.100

[SHA256]: acbd9a850199edfc896a02c63ccf198f9992bcc11a2733e514e6524d48255a



ASSINADO - Otniel Freitas Silva (otniel.freitas@embrapa.br)

Data/Hora: 05/04/2023 - 15:24:22, IP: 200.143.246.150, Geolocalização: [-23.001578, -43.583129]

[SHA256]: f32a97b56e872d4866c14128f2010bc47e93feda789e5c0610750e853e461c

Histórico de eventos registrados neste envelope

05/04/2023 16:40:42 - Envelope finalizado por jrdomingues@id.uff.br, IP 200.156.110.100

05/04/2023 16:40:42 - Assinatura realizada por jrdomingues@id.uff.br, IP 200.156.110.100

05/04/2023 16:40:36 - Envelope visualizado por jrdomingues@id.uff.br, IP 200.156.110.100

05/04/2023 15:24:22 - Assinatura realizada por otniel.freitas@embrapa.br, IP 200.143.246.150

05/04/2023 15:24:04 - Envelope visualizado por otniel.freitas@embrapa.br, IP 200.143.246.150

05/04/2023 15:23:24 - Assinatura realizada por atteodoro@gmail.com, IP 200.156.102.49

05/04/2023 14:48:23 - Envelope registrado na Blockchain por ppgan.secretaria@unirio.br, IP 177.192.70.215

05/04/2023 14:48:21 - Envelope encaminhado para assinaturas por ppgan.secretaria@unirio.br, IP 177.192.70.215

05/04/2023 14:46:09 - Envelope criado por ppgan.secretaria@unirio.br, IP 177.192.70.215



Dedico este trabalho aos meus pais, Renato e Lucia, pelo constante incentivo, e por estarem ao meu lado sempre. Dedico principalmente a Deus, que me deu forças e coragem para vencer os momentos difíceis dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, em seu tempo, mostrando a todo momento que não somente nestes anos de curso, mas ao longo de toda a minha vida, ele esteve presente e é o maior dos mestres.

Agradeço a você, que se dispôs a ler este estudo e que de alguma forma aprenderá um pouco sobre Ciência de Alimentos.

A minha família, em especial aos meus pais, Renato Cardoso e Lucia Maria Alves de Faria, por todo esforço empregado em minha formação profissional e pessoal, entendendo a necessidade da minha ausência, apoiando-me e incentivando-me nas horas difíceis e que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu como pessoa, hoje me sinto mais preparado para enfrentar o que for preciso, para ir em busca do meu sonho.

Às minhas colegas de LAAF/ LABAL, Michelle Santana, Maria Eduarda Flores e Pâmela Souza, obrigado por compartilharem comigo esse sonho e por estarem ao meu lado a cada passo do projeto. Nunca vou conseguir expressar o real valor que foi ter vocês na minha vida neste período, nem mesmo saberei agradecer por tudo que fizeram e o quanto representam para a conquista deste sonho. Obrigado por demonstrarem sempre cumplicidade, incentivo e paciência, principalmente nos momentos mais difíceis.

As colegas de turma, Carolina Ramos, Priscila Gottgroy, Oyatagan Levy e Manuela Samary obrigado pelo apoio, por dividirem comigo as disciplinas, preocupações, frustrações, momentos de descontração e amizade, todos eles contribuíram em minha formação e fizeram esses dois anos mais leves e menos turbulentos.

Aos meus orientadores Prof.º Anderson Junger Teodoro e Prof.^a Francine Albernaz pelo suporte na elaboração do trabalho, pela ajuda nos momentos de dúvida e indecisão, não medindo esforços para o desenvolvimento e conclusão desta pesquisa. Obrigado por fazerem com que eu percebesse em mim um pesquisador ainda mais apaixonado pela nutrição e principalmente pela ciência de alimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida, à Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e principalmente ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN) por me acolherem mesmo no atual cenário do país, onde a pesquisa sofre de forma escancarada uma desvalorização maçante e diversos ataques.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram em minha formação profissional e na realização de mais um sonho. Agradeço inclusive a mim mesmo, porque eu não desisti e cheguei até aqui. Enfim...Sou grato!

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”

Josué 1:9

RESUMO

CARDOSO, C. E. F. **Efeitos da desidratação pelo método de camada de espuma (*foam mat drying*) nos parâmetros físico-químicos e tecnológicos de frutas tropicais.** 2023. 131p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, 2023.

A elevada perecibilidade dos frutos tropicais e a necessidade de implementação de padrões de consumo que valorizem a fruticultura nacional através do processamento e agregação de valor de matérias primas frutíferas, fomentam o surgimento de soluções tecnológicas no mercado, que buscam cada vez mais manter as propriedades nutricionais e bioativas naturais destas matrizes. Perpassando como elemento de interesse neste cenário, o tratamento térmico consagra-se como um método de conservação muito utilizado neste sentido, que, entretanto, apresenta alguns impactos positivos e negativos nos produtos, principalmente ao padrão nutricional e sensorial. Dessa forma, a secagem em camada de espuma tem se apresentado como uma solução para preservar as características sensoriais e nutricionais de frutas quando secas. Dito isto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os impactos da secagem em camada de espuma na qualidade e performance físico-química, composição fenólica e capacidade antioxidante de pós de frutas tropicais (goiaba vermelha (*Psidium guajava*) e melancia (*Citrullus lanatus*)). Para isto, o presente trabalho foi dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo, foi realizado um levantamento bibliográfico a respeito do estado da arte, sobre a técnica de secagem em espuma, no qual buscou-se criar um arcabouço teórico com informações atualizadas, abarcando o fenômeno metodológico envolvido na técnica, destacando pontos relevantes e características de processo, sua fundamentação teórica, vantagens e desvantagens quando comparado a outras metodologias, além dos parâmetros físico-químicos e sensoriais obtidos em uma diversidade de frutas secas pela tecnologia. Já o segundo capítulo, traz um estudo experimental, onde pós de melancia e goiaba foram desenvolvidos utilizando a secagem em camada de espuma, no qual foi dividido em duas etapas, cuja primeira consistiu na investigação dos efeitos das variáveis de processo (tempo de batimento e concentração de albumina), sobre as propriedades físicas, térmicas e tempo de secagem com o intuito de otimizar as condições operacionais para a produção das espumas de fruta, cujos valores plotados foram de 5%^{-100 g/mL} para a goiaba e 15%^{-100 g/mL} para a melancia, de albumina em pó, favorecendo a formação de espuma após agitação mecânica por 10 minutos e facilitando a formação de um filme poroso ao final da secagem. Na etapa seguinte, foi avaliada a influência da aplicação de técnicas de secagem (em camada de espuma e liofilização), na qualidade físico-química, tecnológica, composição fenólica e capacidade antioxidante dos pós de frutas. Notou-se que os pós sofreram impacto dos diferentes métodos de desidratação quando comparado com a sua forma de apresentação *in natura*, sendo a performance dos pós obtidos pelo método de camada de espuma, de maior destaque em todos os parâmetros analisados, tornando-a uma alternativa para o desenvolvimento de produtos com apelo funcional. Porém, a avaliação do impacto financeiro e posicionamento do produto no mercado consumidor deve ser avaliado para definir a melhor tecnologia a ser aplicada na obtenção do produto, sem acarretar custos operacionais elevados às indústrias.

Palavras-chave: Desidratação; Secagem em camada de espuma; Frutas tropicais.

ABSTRACT

CARDOSO, C. E. F. **Effects of dehydration by the foam mat drying method on the physicochemical and technological parameters of tropical fruits.** 2023. 131p. Dissertation (Master in Food and Nutrition) – Federal University of the State of Rio de Janeiro (UNIRIO), Rio de Janeiro, 2023.

The high perishability of tropical fruits and the need to implement consumption patterns that value national fruit growing through processing and adding value to fruit-bearing raw materials, encourage the emergence of technological solutions in the market, which increasingly seek to maintain the nutritional properties and natural bioactives of these matrices. Pervading as an element of interest in this scenario, heat treatment is consecrated as a conservation method widely used in this sense, which, however, has some positive and negative impacts on products, mainly regarding nutritional and sensory standards. Thus, drying in a foam layer has been presented as a solution to preserve the sensory and nutritional characteristics of fruits when dried. That said, the general objective of this work was to evaluate the impacts of drying in a foam layer on the quality and physical-chemical performance, phenolic composition and antioxidant capacity of tropical fruit powders (red guava (*Psidium guajava*) and watermelon (*Citrullus lanatus*)). For this, the present work was divided into two chapters. In the first chapter, a bibliographic survey was carried out regarding the state of the art, on the foam drying technique, in which an attempt was made to create a theoretical framework with updated information, covering the methodological phenomenon involved in the technique, highlighting relevant points and characteristics of process, its theoretical foundation, advantages and disadvantages when compared to other methodologies, in addition to the physical-chemical and sensorial parameters obtained in a diversity of dried fruits by the technology. The second chapter brings an experimental study, where watermelon and guava powders were developed using foam layer drying, which was divided into two stages, the first of which consisted of investigating the effects of process variables (beating time and albumin concentration), on the physical and thermal properties and drying time in order to optimize the operational conditions for the production of fruit foams, whose plotted values were 5%^{-100 g/mL} for guava and 15%^{-100 g/mL} of powdered albumin for watermelon, favoring foam formation after mechanical agitation for 10 minutes and facilitating the formation of a porous film at the end of drying. In the next step, the influence of the application of drying techniques (foam layer and lyophilization) on the physical-chemical and technological quality, phenolic composition and antioxidant capacity of fruit powders was evaluated. It was noted that the powders were impacted by the different dehydration methods when compared to their in natura presentation form, with the performance of the powders obtained by the foam layer method being the most prominent in all the analyzed parameters, making it an alternative for the development of products with functional appeal. However, the evaluation of the financial impact and positioning of the product in the consumer market must be evaluated to define the best technology to be applied in obtaining the product, without causing high operational costs to the industries.

Keywords: Dehydration; Foam layer drying; Tropical fruits.

LISTA DE FIGURAS

○ **Capítulo I – Revisão Bibliográfica**

Figura 1. Mapa da produção de goiaba no Brasil, no ano de 2021, segundo o Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2023)	27
Figura 2. Aspectos morfológicos da goiaba vermelha	28
Figura 3. Mapa da produção da melancia no Brasil, no ano de 2021, segundo o último Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2023)	31
Figura 4. Aspectos morfológicos da melancia	32
Figura 5. Vista da organização molecular geral dos sistemas espumados	37
Figura 6. Estrutura típica das moléculas emulsificantes	39
Figura 7. Estrutura típica da molécula de ovoalbumina	41

○ **Esboço da Pesquisa**

Figura 1. Representação gráfica do processo de obtenção dos resultados apresentados no Capítulo 1	53
Figura 2. Representação gráfica do processo de obtenção dos pós de fruta pelo método em camada de espuma	54

○ **Capítulo II**

Figura 1. Schematic representation of a typical food drying curve	62
Figura 2. Schematic model of foam layer drying	68

○ **Capítulo III**

Figura 1. Correlation of the expansion percentage of guava and watermelon foam versus beating time and powdered albumin concentration	104
Figura 2. Correlation of guava and watermelon foam density versus beating time and powdered albumin concentration	105
Figura 3. Content of total phenolic compounds of powders obtained from guava pulp (NG) and watermelon (NM) by lyophilization process (LG and LM) and foam mat drying (FG and GM)	114
Figura 4. Antioxidant capacity of fresh, foamed and freeze-dried fruit pulps by different methods	117

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 1. Main mathematical models used to determine food drying conditions, reported in the literature 64

Tabela 2. Summary of the main evidences that point to the effects of foam mat drying under fruit matrices 73

Capítulo III

Tabela 1. Physical characterization of foamed and lyophilized fruit powders 110

Tabela 2. Chemical characterization of samples 111

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

°C – Graus Célsius;
μg – micrograma;
ABTS - 2,2 acid '-azino-bis 3-6 ethylbenzothiazolinsulfonic acid;
AG – ácido gálico;
ANOVA – Análise de variância;
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária;
ATT – Acidez total titulável;
Aw – Atividade de água;
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;
CFT – Compostos fenólicos totais;
CI – Índice de Carr;
CMC – Carboxmetilcelulose;
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
DPPH - 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl;
EAG – Equivalente de ácido gálico;
ERA – Retinol Activity Equivalent;
FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e a Alimentação;
FAPERJ - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro;
FG - Foamed guava.
FRAP - Test of ferric antioxidant reducing power;
FW - Foamed watermelon;
LAAF – Laboratório de Alimentos Funcionais;
LABAL – Laboratório de Análise de Alimentos;
LG - Lyophilized guava;
LS – Lecitina de Soja;
LW - Freeze-dried watermelon;
MF – Módulo de finura;
mg – Miligramas;
mm – Milímetros;
MS – Ministério da Saúde;
NG - Guava in natura;
NW - Fresh watermelon;
ONU – Organização das Nações Unidas;
ORAC - Oxygen Radical Absorption Capacity Test
pH – Potencial Hidrogeniônico;
PPGAN – Programa de Pós graduação em Alimentos e Nutrição;
RH – Razão de Hausner;
SVS – Sistema de Vigilância em Saúde;
TE – Equivalente de Trolox;
TSS – Sólidos Solúveis Totais;
U% - Umidade;
Ueq – Umidade equivalente;
UFF – Universidade Federal Fluminense;
UNIFASE – Centro Universitário Arthur Sá Earp Neto;
UNIRIO – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro;
UR% - Umidade Relativa;
 $\lambda_{\text{máx}}$ – Absorção máxima do comprimento de ondas;
 ρ_a – Densidade aparente;
 ρ_c – Densidade Compactada;

SUMÁRIO

Introdução Geral	15
Referências	20
Capítulo I: Revisão Bibliográfica	23
1. Cenário da fruticultura nacional	24
2. Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	25
2.1 Aspectos Gerais	26
2.2 Variedades e características morfológicas do fruto	27
2.3 Composição físico-química da goiaba	29
3. Melancia (<i>Citrullus lanatus</i>)	29
3.1 Aspectos Gerais	29
3.2 Variedades e características morfológicas do fruto	31
3.3 Composição físico-química da melancia	33
4. Processamento de matrizes frutíferas visando a conservação pós-colheita .	34
5. Desidratação por camada de espuma (<i>foam mat drying</i>)	35
6. Aditivos espumantes	38
7. Produtos em pó: características tecnológicas e funcionais	42
Referências	45
Esboço da Pesquisa	52
Capítulo II	53
Capítulo III	54
Capítulo II: Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits - a review	55
1. Introduction	57
2. Food drying	59
2.1 Water in food	59
2.2 Principles of drying kinetics mechanisms	61
2.3 Mathematical models adjustable to drying curves	63
2.4 Factors that influence drying	64
3. Foam-mat drying	66

3.1 Foam structure and stability	69
3.2 General quality attributes of dry materials per foam layer	70
4. Effects of foam mat drying applied to fruit matrices	72
5. Conclusion	81
References	82

Capítulo III: Influence of drying in a foam layer on the physicochemical quality, phenolic composition and antioxidant capacity of Red Guava (*Psidium guajava*) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) powder

1. Introduction	93
2. Methods	95
2.1 Raw material	96
2.2 Preparation and obtaining of samples	96
2.3 Foam characteristics.....	97
2.4 Drying	97
2.5 Characterization of the physical properties of fruit powders	98
2.5.1 Apparent and compacted density	98
2.5.2 Fluidity and cohesion of the powder	98
2.5.3 Granulometry	99
2.5.4 Rehydration time	99
2.6 Characteriozation of the chemical properties of fruit powders	100
2.6.1 Humidity (%)	100
2.6.2 Hydrogen potential (pH)	100
2.6.3 Total soluble solids (TSS)	100
2.6.4 Total titratable acidity (ATT)	100
2.6.5 Colorimetry	101
2.7 Total phenolics	101
2.8 Antioxidant capacity	101
2.8.1 Assay DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	101
2.8.2 Assay ABTS (2,2 acid-azino-bis 3-6 ethylbenzothiazolinsulfonic)...	102
2.8.3 Test of ferric antioxidant reducing power (FRAP)	102
2.8.4 Oxygen Radical Absorption Capacity Test (ORAC)	102
2.9 Statistical analysis	103
3. Results and discussion	103

3.1 Influence of agitation time and additive concentration on the expansion percentage and foam density	103
3.2 Drying the foams and obtaining the fruit powders	105
3.3 Physical characterization of fruit powders	107
3.4 Physical-chemical characterization	111
3.5 Content of phenolic compounds	114
3.6 Antioxidant capacity	116
4. Conclusion	120
References	121
Considerações finais geral	128
ANEXO I	130
ANEXO I	131

Introdução Geral

A Organização das Nações Unidas (ONU), dada a importância do consumo de alimentos *in natura* de origem vegetal como parte de uma dieta saudável, declara o ano de 2021 como o “Ano Internacional das Frutas e Vegetais”, visando principalmente conscientizar a população sobre a redução de perdas e desperdícios e, sobretudo, reverberar os benefícios à saúde creditados às substâncias bioativas presentes abundantemente nestes alimentos (FAO, 2021).

Atualmente o Brasil se consagra como um dos maiores produtores mundiais de frutas, atendendo tanto o mercado interno quanto o internacional, destaca-se pela grande variedade de espécies que produz, que inclui frutas tropicais e de clima temperado. Neste sentido, o fomento da fruticultura nacional, é fundamental para a sociedade, tanto para a economia do país quanto para a saúde das pessoas, potencializando a preservação da biodiversidade e valorizando a riqueza vegetal existente (SANTANA E SILVA et al., 2021).

A fruticultura brasileira vem se expandido ao longo dos anos, realizado investimentos para aumentar a produção, a produtividade e melhorar a qualidade de diversas frutas antes e durante o período pós colheita (CARDOSO et al., 2022). Neste sentido, a comercialização de produtos derivados de frutas em escala mundial mostrou-se em expansão, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, por exemplo, o que potencializou a adoção de técnicas que reduzam e/ou controlem eventos deteriorantes, aumentando sua vida útil e favorecendo o comércio entre safra do produto (ALBUQUERQUE et al., 2016).

Do ponto de vista nutricional, as frutas são consideradas elementos de importância na oferta dietética de energia, minerais, vitaminas, fibras e compostos bioativos e, seu consumo tem aumentado cada vez mais na perspectiva de alimentação. De forma geral, as frutas são consumidas principalmente de forma *in natura*, possuindo alto apelo sensorial pelos consumidores. Entretanto, um grande impasse enfrentado pelos fruticultores é a conservação destas matrizes alimentares quando maduras, pois são altamente perecíveis decorrente da alta atividade de água (A_w) presente em sua composição, fazendo com que sejam mais suscetíveis à atividade microbiana e eventos deteriorantes, o que de certa forma implica em perdas significativas pós-colheita, alcançando margens próximas a 30% (GADELHA, 2016; CARDOSO; LOBO, 2021; SANTANA E SILVA et al., 2021).

Neste cenário, a inovação tecnológica desempenha um papel importante como ferramenta para melhorar o processamento destes frutos visando a obtenção de novos produtos, constituindo-se como uma forma de reduzir o desperdício e agregar maior valor econômico, através de uma nova designação da matéria prima. Assim, a utilização de tecnologias metodológicas, tais como a desidratação para o processamento e viabilização da produção de novos produtos a partir destas frutas, tornam-se interessante com o foco na diminuição do desperdício pós-colheita e obtenção de produtos estáveis para o mercado industrial e consumidor (ELPÍDIO, 2021).

Diferentes métodos de desidratação de frutas e matrizes alimentares, são descritos na literatura, como a secagem em forno convencional, a secagem vertical pela utilização de bandejas, a secagem convectiva, a liofilização e a secagem em camada de espuma, por exemplo, com o objetivo de remover o conteúdo de água e conseqüentemente reduzir à atividade potencialmente deteriorante, potencializando a sua preservação e prolongando sua vida útil (MICHALSKA *et al.*, 2016; VANGDAL *et al.*, 2017)

Nos últimos anos, a secagem em camada de espuma, tem sido reconhecida como uma técnica eficaz e de baixo custo operacional, onde a porosidade da espuma e a maior relação área superficial e volume de expansão, proporcionam altas taxas de transferência de calor e massa, reduzindo o tempo de processo e melhorando a qualidade do produto seco, quando comparado a produtos obtidos por outros processos operacionais que possuem da mesma finalidade (DEHGHANNYA *et al.*, 2019).

Este método de desidratação em camada de espuma, basicamente baseia-se na transformação de líquidos e semilíquidos em espumas, onde através de seu processamento mecânico, são associados a agentes espumantes/ estabilizantes e submetidos a temperaturas brandas, sendo posteriormente transformadas em um pó com característica finamente pulverizada de fácil incorporação na formulação de alimentos, apresentando menor tempo de secagem e maior preservação de suas características físico-químicas, atribuindo propriedade funcionais importantes quando aplicado na formulação de alimentos (ANDRADE *et al.*, 2022).

O estudo acerca do desenvolvimento de subprodutos seguros, nutricionalmente e sensorialmente atrativos e o impacto das tecnologias de tratamento térmico é extremamente importante para trazer informações atualizadas e pautadas na ciência para a indústria e academia, onde de forma geral, a qualidade de um alimento ou produto

alimentício, pode ser avaliada mediante caracterização e análise de suas propriedades físico-químicas, nutricionais e funcionais.

Na interface dos estudos realizados em produtos secos, a qualidade do produto final pode ser expressa pautado em aspectos relativos às propriedades físicas, químicas, sensoriais e nutricionais, as quais podem ser usadas como elementos que atribuam parâmetros específicos de qualidade, visto que os procedimentos operacionais envolvidos nos processos de secagem, podem desempenhar alterações positivas ou negativas nos pós de fruta (ELPÍDIO, 2021).

Com esse intuito portanto, o objetivo deste estudo foi a obtenção de diferentes pós de frutas tropicais a partir da secagem em camada de espuma, a fim de proporcionar uma forma eficiente de incluir alguma destas frutas na alimentação como um composto suplementar com alto valor agregado, à partir de sua designação como ingrediente na formulação de alimentos. Em tempo, verifica-se que em todas as análises realizadas, foram estabelecidas comparações com um produto controle da mesma fruta, obtido pelo processo de liofilização, uma vez que a liofilização é conhecida como o melhor método de secagem para preservar as propriedades originais das matérias-primas, sendo indicado para a conservação de substâncias sensíveis à temperatura como vitaminas e compostos bioativos (DOMIN *et al.*, 2020).

O presente trabalho segue as normas de elaboração de dissertações e teses no formato de artigo científico, definido e aprovado pelo Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição (PPGAN) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro em 14 de maio de 2019. Assim, esta dissertação está seccionada em 3 capítulos, sendo eles:

(1) **Revisão Bibliográfica**

Descrição do capítulo: Neste capítulo é apresentado uma breve revisão bibliográfica com relação à temática geral abordada no trabalho, com objetivo da criação de um arcabouço teórico para melhor delimitar e concretizar as ideias subsequentes. Destaca-se enfoque às características específicas da matéria prima utilizada nos estudos e no fenômeno de secagem.

(2) **Artigo de revisão da literatura:** *“Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits - a review”*

Descrição do capítulo: Buscando criar um arcabouço teórico acerca do estado da arte da temática descrita e considerando o panorama supracitado, esta revisão visa

trazer informações atualizadas sobre o processo de secagem de matrizes frutíferas, com ênfase no método de secagem em camada de espuma, abarcando informações sobre o fenômeno metodológico envolvido na técnica, destacando pontos relevantes e características de processo, sua fundamentação teórica, vantagens e desvantagens quando comparado a outras metodologias, além dos parâmetros físico-químicos e sensoriais obtidos em frutas secas pela tecnologia.

- (3) **Artigo Original:** *“Influence of drying in a foam layer on the physicochemical quality, phenolic composition and antioxidant capacity of Red Guava (*Psidium guajava*) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) powder”*

Descrição do capítulo: Este estudo contempla os resultados e discussão dos experimentos realizados, onde teve-se como objetivo central, avaliar os impactos da aplicação da tecnologia de secagem em camada de espuma na qualidade e performance das espumas e também na qualidade físico-química, composição fenólica e capacidade antioxidante de pós de frutas goiaba vermelha (*Psidium guajava*) e melancia (*Citrullus lanatus*) obtidos ao final do processo.

Referências

- Albuquerque, T. G.; Santos, F.; Silva, A. S.; Oliveira, A. C. B.; Costa, H. S. (2016). Nutritional and phytochemical composition of *Annona cherimola* Mill. fruits and by-products: Potential health benefits. *Food Chemistry*, v. 193, p. 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.044>
- Andrade, P. T. A. da S., Rigueira, L. M. B., Baliza, P. X., Mizobutsi, G. P. (2022). Effect of thermal treatment on the concentration of total phenolic compounds and Anthociains present in guava (*Psidium guajava*). *Brazilian Journal of Development*, 8(6), 45191–45201. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-172>
- Cardoso, C. E. F.; Lobo, F. A. T. F. (2021). Estudo do processo de obtenção da polpa de Beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.) em pó pelo método foam mat drying para aplicação em alimentos visando a substituição de corantes alimentícios sintéticos. *Revista da Associação Brasileira de Nutrição - RASBRAN*, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 131–152.
- Cardoso, C. E. F.; Trindade, M. E. F.; Coelho, C.; Teodoro, A.; Freitas-Silva, O. (2022). Qualitative and Safety Aspects in the Camu-Camu Production Chain. *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, 16. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v16i0.7312>
- Dehghannya, J.; Pourahmada, M.; Ghanbarzadeha, B.; Ghaffarib, H. (2019). A multivariable approach for intensification of foam-mat drying process: Empirical and three-dimensional numerical analyses. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, v. 135, p. 22-41. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.11.010>
- Domin, M.; Dziki, D.; Klapsia, S.; Blicharz-Kania, A.; Biernacka, B.; Krzykowski, A. (2020). Influence of the freeze-drying conditions on the physicochemical properties and grinding characteristics of kiwi. *International Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0315>
- Elpídio, C. M. A. **Secagem da ameixa pelo método de camada de espuma: Otimização dos parâmetros e caracterização do produto.** 2021. 174p. Tese de

Doutorado (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2021.

FAO. Fruit and vegetables – your dietary essentials. The International Year of Fruits and Vegetables, 2021, background paper. In: Fruit and vegetables – your dietary essentials. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb2395en>

Gadelha, M. R. A. (2016). Desenvolvimento de blends com frutos tropicais à base de tamarindo. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil.

Michalska, A., Wojdylo, A., Lech, K., Lysiak, G., & Figiel, A. (2016). Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food chemistry*, 207, pp. 223-232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.075>

Santana E Silva, A. B.; Giardina Da Silva, E.; Rigo, L.; Prado De Oliveira, M.; Loss, R. A.; Ferreira Guedes, S.; De Paula, J. M.; Queli Geraldi, C. A. (2021). Técnicas de secagem de frutas: uma revisão. *Scientific Electronic Archives*, [S. l.], v. 14, n. 10. <http://dx.doi.org/10.36560/141020211424>

Vangdal, E.; Picchi, V.; Fibiani, M.; Lo Scalzo, R. (2017). Effects of the drying technique on the retention of phytochemicals in conventional and organic plums (*Prunus domestica* L.). *LWT - Food Science and Technology*, v. 85, p. 506-509. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.075>

Capítulo I

Revisão Bibliográfica

1. Cenário da fruticultura nacional

O Brasil possui uma das maiores biodiversidades vegetais do mundo, tendo grande dimensão territorial e condições climáticas favoráveis ao cultivo de uma grande variedade de frutas (ABRAFRUTAS, 2019). Neste sentido, o aumento no consumo de frutas frescas, assim como nos níveis de processamento e exportações, tem alavancado a produção frutífera, caracterizando a fruticultura como um movimento dentro da perspectiva agrícola, de destaque pelo importante papel que desempenha, no âmbito alimentar, social e econômico, gerando oportunidades de trabalho e dinamizando a economia local (CALAI; ABRAFRUTAS, 2019).

A produção brasileira de matrizes frutíferas na esfera da fruticultura, constitui-se em grande proporção por frutas tropicais e subtropicais, possuindo um elevado potencial de consumo. Atualmente o Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de espécies frutíferas, ficando atrás apenas da China, que se consagra como a maior produtora frutífera, concentrando uma ampla gama de cultivares, tais como maçã, melão, uva, tangerina e melancia, seguido da Índia, que se destaca com a produção de manga, banana e coco (VIDAL, 2021).

Assim como a Índia, o Brasil tem sua produção destinada principalmente para o seu mercado interno, participando em pequenas proporções do comércio mundial, que em 2019 correspondeu apenas 2,4% do total de exportações à nível global. Sua maior área plantada está centrada na região Nordeste, onde em 2019, a fruticultura nordestina gerou aproximadamente US \$699,7 milhões em divisas no comércio exterior, alta de 13% em relação a 2018, enquanto o valor da produção superou os R\$ 13 bilhões. A Região respondeu em 2019 por 34,4% do valor da produção nacional de frutas (VIDAL, 2021).

Em 2020/2021, apesar da grave crise sanitária global ocasionada pelo surgimento de um patógeno até então desconhecido pela comunidade científica global, uma nova linhagem de coronavírus, não houve intercorrências em questão de abastecimento nem de produção em território nacional, entretanto, foi evidenciado uma problemática relacionada ao escoamento dos produtos produzidos, por conta das medidas de distanciamento social, impedindo a livre circulação da população em feiras livres, escolas e hotéis, impactando de forma negativa a logística dos produtores, principalmente os menores e aqueles que produzem frutos de maior perecibilidade, que apresentam um

maior teor de umidade em sua composição, tais como o abacaxi, a goiaba, a melancia e o melão (VIDAL, 2021).

A Organização das Nações Unidas (ONU), designou 2021 como o “Ano Internacional das Frutas, Verduras e Legumes” pois consideram que o fomento de seu consumo, seja essencial para dietas saudáveis e sustentáveis, tanto na perspectiva de saúde, quanto na perspectiva de manutenção e preservação de sistemas agroalimentares (FAO, 2021). Diversas são as pesquisas que evidenciam, que o aumento do consumo de verduras, legumes e frutas, pode contribuir de forma significativa na melhoria da qualidade nutricional da alimentação, em decorrência de serem fontes de vitaminas, minerais, fibras dietéticas e fitoquímicos, cujos efeitos se relacionam à proteção e promoção da saúde (BRUINS, VAN DAEL; EGGERSDORFER, 2019).

Ainda assim, mesmo diante de diversas evidências positivas para o consumo de tais matrizes alimentares, o consumo *percapita* de alimentos do grupo dos legumes, verduras e frutas (FLV), encontram-se abaixo dos valores recomendados em muitos países, estando diretamente associados à crescente do perfil epidemiológico, marcado pela presença de morbimortalidades atreladas ao estado nutricional (MASON-D’CROZ *et al.*, 2019).

Segundo diretrizes alimentares da Organização Mundial de Saúde (OMS/WHO), no qual incluem orientações de natureza quantitativa e qualitativa, é sugerido o consumo diário de pelo menos 400 gramas desses alimentos, sendo oriundos de fontes diversas, tendo em vista a concentração de diferentes nutrientes em maior ou menor proporção em cada tipo de alimento (WHO, 2018). Nesta perspectiva, o Guia Alimentar para a População Brasileira direciona sua narrativa para a discussão acerca da grande variedade de FLV disponíveis no país e recomenda a seleção e inclusão de alimentos variados como base de uma alimentação nutricionalmente balanceada e saudável (BRASIL, 2014)

Deste modo, a fruticultura brasileira, seja cultivando frutas temperadas ou tropicais, frutas mundialmente conhecidas ou consumidas apenas regionalmente, possui características comuns: valorização da terra, preservação dos recursos naturais e produção de um alimento saudável e saboroso que agrega não só para a saúde, mas para a economia. A produção nacional incorpora cada vez mais tecnologia e inovação, mas traz um legado de gerações, que garante nutrição, geração de renda, preservação cultural e sustentabilidade ambiental. Embora a população brasileira ainda seja sua principal base

consumidora, as frutas brasileiras se fazem presentes cada vez mais em novos mercados, onde estão se tornando mais conhecidas e demandadas.

2. *Goiaba (Psidium guajava)*

2.1 *Aspectos gerais*

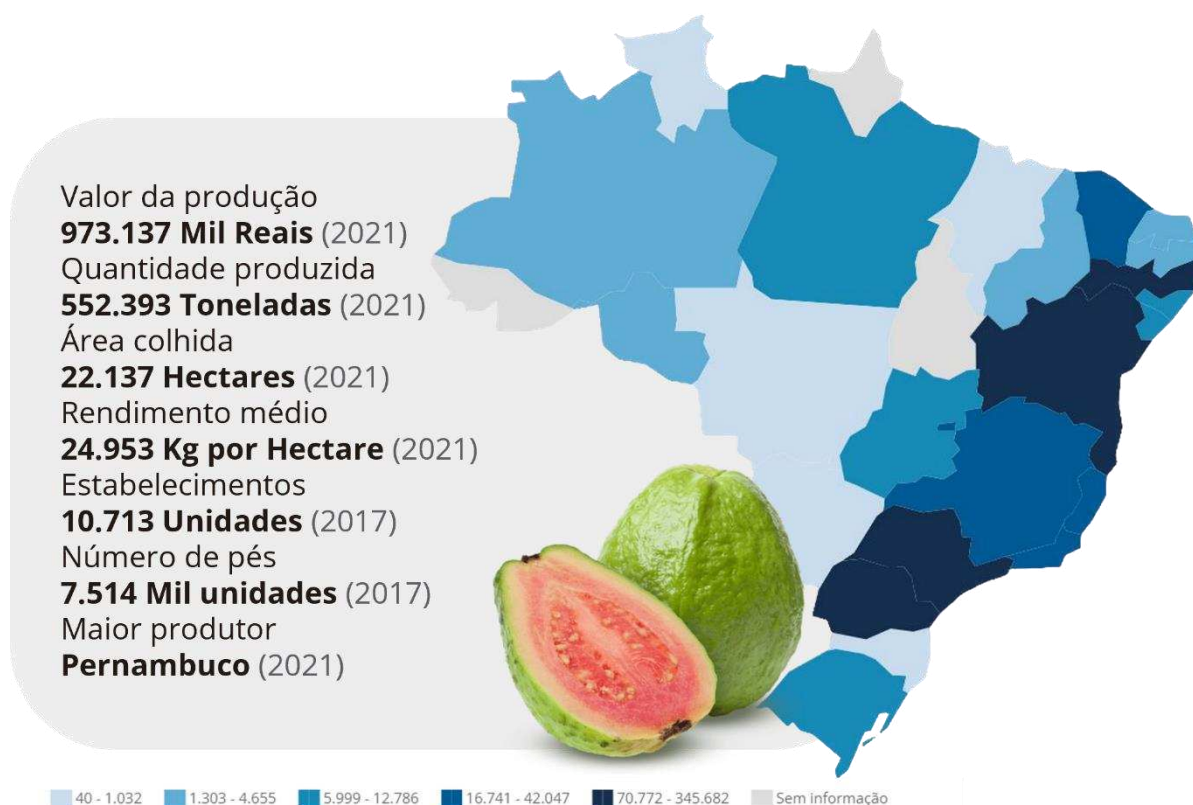
A goiaba é uma fruta tropical que pertence ao gênero *Psidium*, da família *Myrtaceae*, que compreende de 110 a 130 espécies de árvores e arbustos. A goiabeira, botanicamente se caracteriza como uma árvore de pequeno porte, podendo medir de 3 a 6 m de altura (NETO; BEZERRA & COSTA, 2003). Dados da literatura, apontam que a sua origem se dá na região tropical do continente americano com centro de origem, provável, na região compreendida entre o sul do México e o norte da América do Sul (MEDINA, 1988). As primeiras referências que citam à goiabeira, bem como os seus frutos são do cronista espanhol Oviedo, e datam do período entre 1514 e 1557 (RUEHLE, 1964), no qual refere-se à goiabeira pelo nome de “*guayabo*”.

O Brasil é um dos maiores produtores de goiaba, ocupando o quarto lugar mundial, ficando atrás apenas da Índia, Paquistão e México (RIBEIRO, 2021). A expansão dos pomares em território brasileiro, ocorre associada à sua forte adaptação quando exposta a diversos cenários de condições edafoclimáticas, e a versatilidade inerente dos frutos, que podem ser consumidos frescos na forma in natura ou como subprodutos oriundos de processos de industrialização, agregando valor na fabricação e comercialização de diversos produtos (ROZANE; OLIVEIRA; LÍRIO, 2003; HONORATO, 2019).

A goiaba está entre as 19 principais frutas mais produzidas no Brasil, sendo encontrada em todos os estados, com excelente potencial exploratório, comercialmente falando. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2021, o Brasil produziu cerca de 552.393 toneladas da fruta em 22.137 hectares, com produtividade média de 24,953 Kg por hectare (IBGE, 2023). O estado de Pernambuco se destaca no cenário nacional, apresentando produtividade superior a demais estados brasileiros, estando acima da média nacional, sendo o principal estado produtor da fruta com 198.754 toneladas produzidas em uma área de aproximadamente 5.516 hectares (IBGE, 2023).

A Figura 1 apresenta o mapa de produção da goiaba no Brasil, segundo o último censo agropecuário (2021), no qual destaca-se queda de valor da produção, quando comparado ao ano de 2020.

Figura 1. Mapa da produção de goiaba no Brasil, no ano de 2021, segundo o Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE (2023)



Fonte: Autoria própria, utilizando dados do IBGE (2023).

2.2 Variedades e características morfológicas do fruto

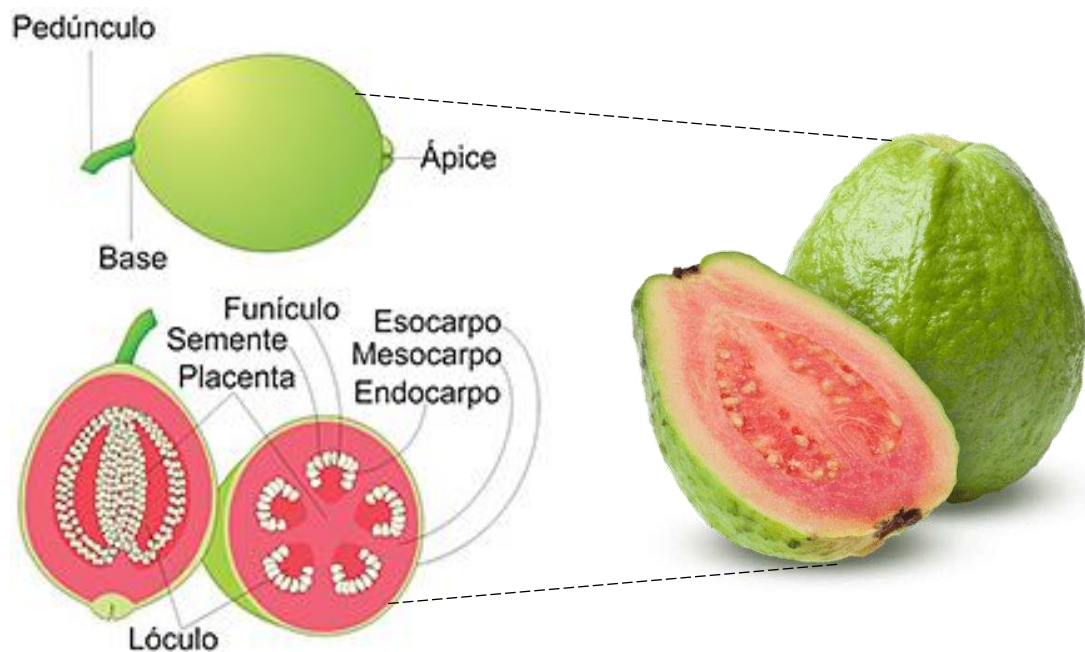
O fruto oriundo da goiabeira é carnoso, do tipo baga com polpa doce-acidulada e extremamente aromático. Internamente apresenta um mesocarpo de textura firme e 4 a 5 lóculos cheios por uma massa de consistência pastosa, onde contém numerosas sementes pequenas, de coloração branca e muito duras (SANTOS, 2011).

De forma geral, existem dois tipos mais comuns de goiaba sendo designadas pela cor da sua polpa, a vermelha e a branca (IHA *et al.*, 2008), sendo que as goiabas destinadas ao mercado externo são preferencialmente de polpa com coloração branca,

com peso médio e tamanho de acordo com a classificação desejada, por serem mais resistentes ao transporte e armazenamento. Entre essas variedades, podem ser observadas algumas distinções bem delimitadas, para além da coloração da polpa como, aspecto da textura da casca, o sabor e formato da fruta, sendo as variedades de polpa vermelha as de melhor aceitação no mercado interno (NETO, 2003).

A variedade “*Kumagai*”, apresenta formato ovalado à arredondado, casca lisa a levemente rugosa, além do sabor doce. Por outro lado, a variedade “*Ogawa*”, também com coloração da polpa branca, tem o formato oblongo, com casca rugosa e sabor também doce. Nas variedades de polpa com coloração vermelha, exibe distinção no formato oblongo a piriforme, casca lisa a rugosa e sabor doce da “*Pedro Sato*”, enquanto a “*Sassaoka*”, tem formato achatado, casca rugosa e sabor doce (CAVALINI, 2004). A Figura 2 apresenta de forma ilustrativa a morfologia do fruto de goiaba.

Figura 2. Aspectos morfológicos da goiaba vermelha.



Fonte: Autoria própria.

Ilustração: Bertoldo Borges Filho©

2.3 Composição físico-química da goiaba

Uma alimentação saudável na perspectiva de uma dieta rica e diversa, constitui um importante papel na manutenção da saúde (BRASIL, 2014). A goiaba é uma fruta que possui composição nutricional interessante sendo uma ótima opção para consumo. A fruta é extensivamente estudada no cenário científico nacional, devido ao seu alto valor nutritivo, e tem grande aceitação no mercado consumidor, sendo uma excelente fonte de nutrientes e compostos bioativos na perspectiva dietética. O fruto maduro da goiaba vermelha contém carotenoides, onde destaca-se o licopeno (pigmento de coloração avermelhada), além de vitaminas do complexo B, tais como as vitaminas B1, B2 e B6, açúcares livres, sejam no formato de mono ou dissacarídeos (glicose, frutose e sacarose) e um alto percentual de fibra pectina (SOUZA *et al.*, 2020), sendo ainda considerada uma excelente fonte de vitamina C, potássio, cobre e fibras (QUEIROZ *et al.*, 2008). O percentual da vitamina C na *Psidium guajava* varia entre 50 - 300 mg/ 100 g de peso fresco, o qual é de três a seis vezes maior do que o percentual encontrado numa laranja (TACO, 2011).

O licopeno é um dos potentes antioxidantes presentes na fruta, sendo sugerido sua ação e potencialidade na diminuição do risco de alguns tipos de câncer (ELIAS *et al.*, 2021). Em tempo, é válido apontar, que a goiaba possui ainda na sua composição, fitoquímicos importantes tais como: os taninos, os flavonoides, óleos essenciais, álcoois sesquiterpênicos e ácidos triterpenóide (IHA *et al.*, 2008).

Em um estudo desenvolvido por IHA *et al.* (2008), no qual através da utilização de cromatografia em camada delgada confirmaram a presença de rutina, quercetina e epicatequina nas amostras de polpa de goiaba vermelha, o que aponta uma importante variação nos tipos de compostos fenólicos nas amostras de polpa de goiaba vermelha.

3. Melancia (*Citrullus lanatus*)

3.1 Aspectos gerais

A melancia (*Citrullus lanatus*), é originária das regiões secas da África Tropical, possuindo um centro de diversificação secundário no sul da Ásia (NASCIMENTO *et al.*, 2011) sendo cercada de teorias, de que seja derivada da espécie “*C. colocynthis*”, que é perene e endêmica na região africana, ocorrendo de forma silvestre na Índia (PEREIRA, 2017).

A fruta pertence à família *Curcubitaceae*, sendo classificada dentro da Divisão *Magnoliophyta (Spermatophyta)*, Classe *Magnoliopsida (ou Campanulales)*, Subclasse *Dilleniidae (ou Dicotyledonae)*, Ordem *Curcubitales*. como uma espécie herbácea rastejante de ciclo vegetativo anual. As variedades comerciais apresentam, em média, ramos de quatro metros de comprimento, inferior aos dez metros das raças crioulas (SOUSA *et al.*, 2019). O sistema radicular, nas principais regiões produtoras no Brasil, atinge uma profundidade efetiva entre 30 cm e 40 cm, podendo em algumas condições ultrapassar 60 cm (MAROUELLI *et al.*, 2012).

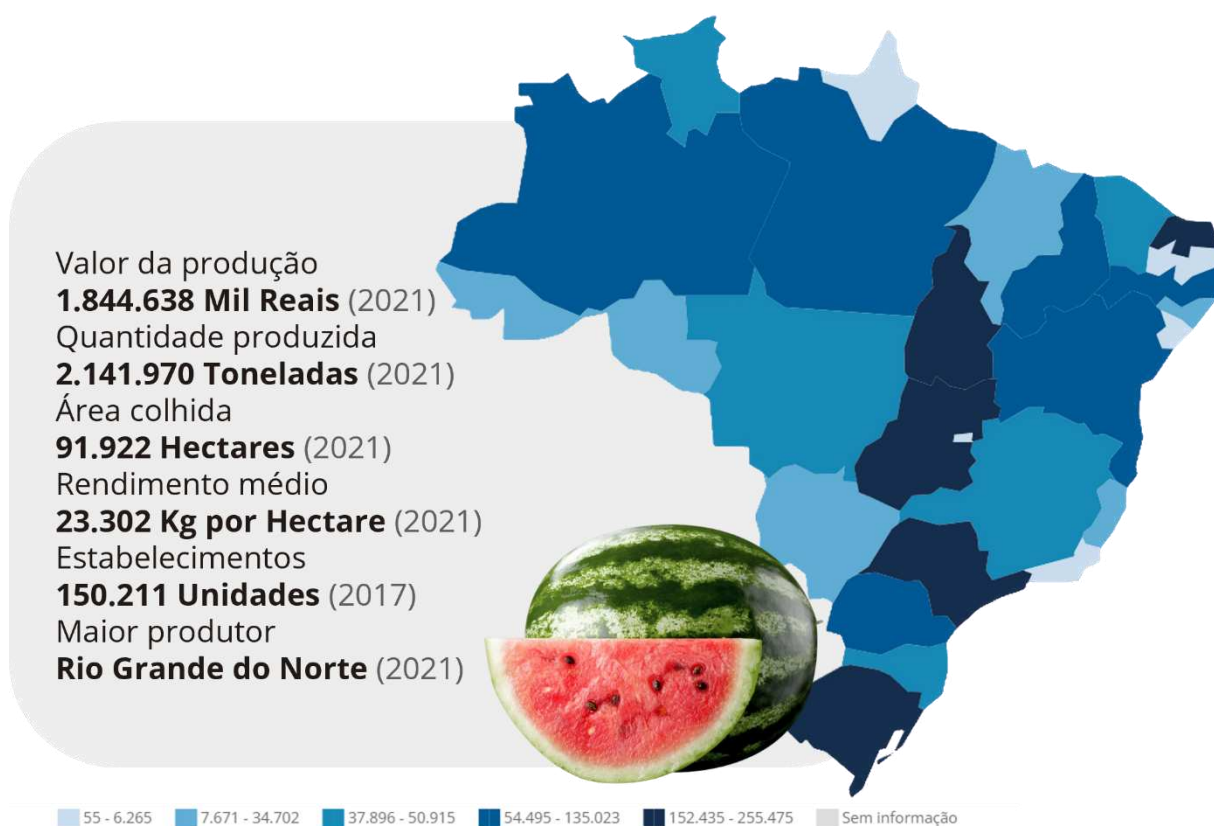
No cenário mundial, o Brasil ocupa a quarta colocação de maior produtor da fruta, representando cerca de 2% da produção total dos hectares nacionais. A China, a Turquia e o Irã, são os países de maior representatividade no mercado externo, sendo responsáveis por aproximadamente 73% da produção e comercialização da fruta (PEREIRA, 2017).

No Brasil, a produção de melancia corresponde a uma área colhida de cerca de 91.922 hectares, produzindo em média cerca de 2.141.970 toneladas/ ano. Em termos de produção regional, o Nordeste é quem lidera na proporção de área plantada, sendo o Rio Grande do Norte o estado de maior destaque na interface produtiva (DIAS & SANTOS, 2019; IBGE, 2023).

Na interface tocante das flutuações de preço no mercado consumidor, principalmente por conta da disparada da inflação, pode-se considerar que os períodos de safra da fruta (que ocorre entre janeiro e abril) é onde ocorrem o maior escoamento da produção. Segundo o balanço 2019 publicado pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) a rentabilidade do cultivo de melancia no Brasil, foi positiva em 2019, tendo a oferta e abastecimento do produto no mercado consumidor, de forma bem difusa durante o ano (CNA, 2020).

A Figura 3 apresenta o mapa de produção da melancia no Brasil, segundo o último censo agropecuário (2021), no qual destaca-se um significativo aumento no valor da produção, quando comparado ao ano de 2020.

Figura 3. Mapa da produção da melancia no Brasil, no ano de 2021, segundo o último Censo Agropecuário Brasileiro – IBGE.



Fonte: Autoria própria, utilizando dados do IBGE (2023).

3.2 *Variedades e características dos frutos*

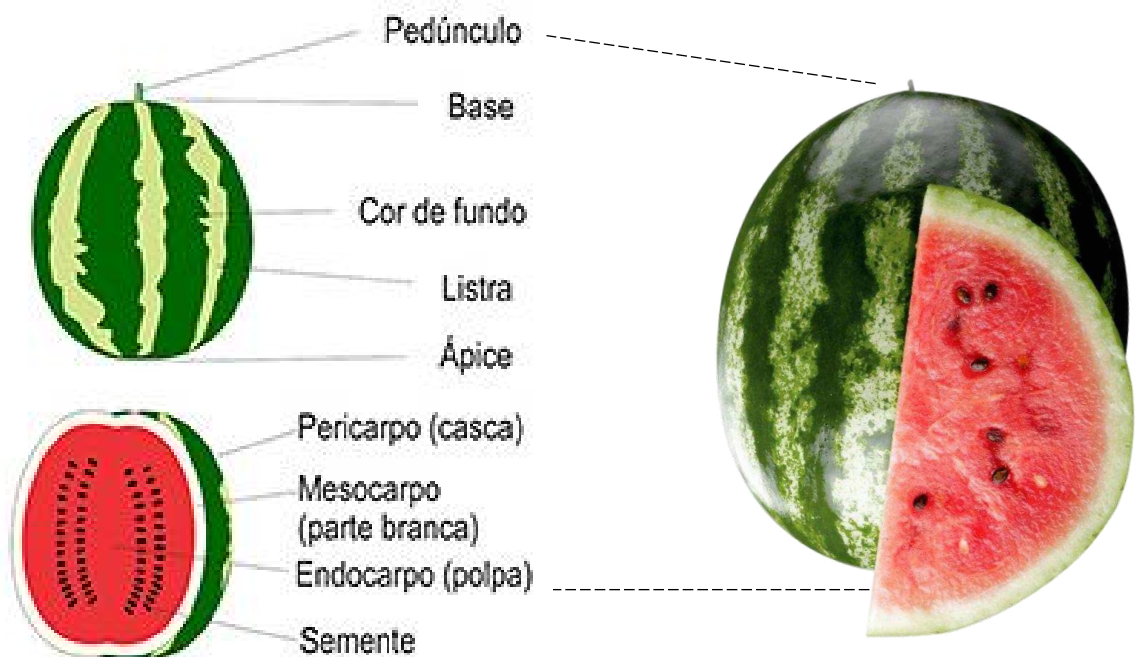
Ao cultivares de melancia mais populares na agricultura brasileira, são as de origem americana ou japonesa, contudo considerando o mercado externo de exportação da fruta, há uma importante diversificação de cultivares, que diferem entre si quanto à forma do fruto, coloração externa do pericarpo e da polpa, resistência ao transporte e tolerância de distúrbios fisiológicos comumente encontrados em processos agrícolas (DIAS *et al.*, 2001).

Tradicionalmente, a melancia é um fruto reconhecido por seu formato de “baga” esférica ou ovoide, com epicarpo liso e lustroso, que pode variar de coloração verde-escuro a verde-claro podendo haver a ocorrência de listras claras, a depender do cultivar. A polpa apresenta coloração que varia do branco róseo ao vermelho arroxeadado (GOMES,

2012). As sementes apresentam tamanhos variados e coloração que varia de cinza “cimentado” à preto, e ficam embebidas na parte comestível do fruto (polpa). A polpa da fruta possui coloração vermelha em função da presença de licopeno ou amarelada devido à presença de carotenos e xantofilas.

Os frutos da família das cucurbitáceas, principalmente a melancia, desempenham um importante papel na perspectiva da alimentação humana, sendo consumida de forma frequente em sua versão "*in natura*", como também, na forma de subprodutos, tais como sucos, geleias, doces tipo compotas, molhos e como elementos de composição em saladas (RESENDE; COSTA; DIAS, 2006). A Figura 4 apresenta de forma ilustrativa a morfologia do fruto de melancia.

Figura 4. Aspectos morfológicos da melancia.



Fonte: Autoria própria.

Ilustração: Bertoldo Borges Filho©

3.3 *Composição físico-química*

A composição química de um alimento varia e, é influenciada por diversos fatores tanto intrínsecos quanto extrínsecos, no qual atuam sobre o desenvolvimento da matriz vegetal na interface fisiológica, tais como a época de plantio e semeadura, os sistemas agrários utilizados em seu manejo de plantio e colheita e as condições meteorológicas (SOARES *et al.*, 2010).

Diversos são os estudos que apontam que a casca e a polpa da melancia, é rica em L-citrulina, um aminoácido que atua no organismo humano, com uma função vasodilatadora. Esses constituintes da fruta, podem ainda, ser fonte de compostos fenólicos, além de macro e micronutrientes de importância nutricional (PERKINS-VEAZIE; COLLINS, 2004; COSTA, 2017).

Além da casca e polpa, as sementes das cucurbitáceas também são utilizadas em algumas culturas (RESENDE; COSTA; DIAS, 2006) por serem ricas em gorduras, proteínas, vitaminas como a tiamina (B1) e niacina (B3) e minerais como o cálcio, fósforo, ferro e magnésio, apresentando baixo valor energético por porção.

Esse fruto é constituído essencialmente por água, em torno de 91% da parte comestível. O restante corresponde a macronutrientes, vitaminas e minerais, especialmente cálcio, magnésio e em maior quantidade, potássio, em torno de 104 mg/100g⁻¹ (TACO, 2011).

Na polpa estão presentes vários compostos com propriedades ditas como funcionais, tais como os carotenoides, entre eles, os compostos fenólicos e a vitamina C, que atuam de forma preventiva às doenças degenerativas e cardiovasculares (COSTA, 2017). É importante ressaltar que estes compostos funcionais, podem sofrer influência direta de vários fatores externos e internos da matriz, tais como o tipo da cultivar/genótipo, condições climáticas adversas, maturidade do fruto e métodos e procedimentos de manejo pós-colheita (forma de transporte, armazenamento etc) (LEE; KADER, 2000; PERKINS-VEAZIE *et al.*, 2001).

Dos compostos bioativos, com propriedades funcionais encontradas na melancia, assim como na goiaba, anteriormente citada, o licopeno é responsável pela coloração vermelha típica da polpa do fruto maduro. A melancia fresca constitui uma fonte importante de licopeno, altamente biodisponível para os seres humanos. Sua

biodisponibilidade a partir do suco de melancia fresco é, de fato, semelhante à dos tomates processados, quando em temperatura elevada (EDWARDS *et al.*, 2003).

Diversos estudos apontam que o licopeno, obtido de tomate, melancia e mamão por exemplo, possui grande ação antioxidante e anti-inflamatória, podendo desempenhar efeito neuroprotetor no sistema nervoso central (SNC), o que reforça a importância do consumo de alimentos fontes desse composto como parte de uma dieta saudável. Além disso, possui potencial de ação em diversos distúrbios crônico/metabólicos, como na doença hepática não alcoólica e insuficiência cardíaca, bem como no câncer de próstata e diabetes tipo II como mencionado por Costa-Rodrigues *et al.* (2018) e Zu *et al.* (2014).

Além de licopeno, a melancia possui também, quantidades significativas de fenólicos (CHEN; HUANG; CHEN, 2019). Abu-Reidah *et al.* (2013) realizaram a caracterização de um extrato hidro-metanólico de melancia, o qual apresentou 71 compostos, tais como ácidos fenólicos, flavonóides, iridóides, cumarinas e lignana, todos exercem efeitos biológicos benéficos, podendo auxiliar na prevenção e até melhora de doenças crônicas como câncer, diabetes, inflamação e doenças cardiovasculares (FUSI *et al.*, 2020).

Em estudo realizado por Fusi *et al.* (2020), foi ressaltado o impacto positivo da ação destes compostos, em especial os flavonóides em doenças cardiovasculares, como hipertensão arterial sistêmica e arterial e coronariana, além do potencial de esses compostos na modulação direta e indireta dos canais cardiovasculares de potássio, de modo que, com a inclusão na dieta, poderiam se acumular em nível celular na forma de agliconas parentais.

Assim, em virtude de desempenhar um papel eficaz na redução do estresse oxidativo pela ação do licopeno, diversas evidências apontam que a melancia possui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anti-hipertensivas (FIGUEROA *et al.*, 2011). No entanto, é importante ressaltar que a fruta possui outros antioxidantes e elementos em sua composição, que têm sido associados à diminuição do risco de doenças e morbidades.

4. *Processamento de matrizes frutíferas visando a conservação pós-colheita*

Uma vez que se consagra como um dos maiores produtores de frutas do mundo, a alta taxa de perdas de matéria frutífera no pós-colheita é uma realidade na perspectiva agrícola, onde o Brasil assume papel de protagonismo. Essas perdas ocorrem

principalmente, por deficiências de abastecimento nos pontos comerciais ou do escoamento e consumo do produto em tempo hábil e de forma desproporcional, resultando em danos que podem ocorrer em todas as fases da cadeia agrícola (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Um dos grandes pilares relacionados ao processo de perda da matriz alimentar, principalmente quando matriz frutífera, é a sua alta perecibilidade, visto que mesmo após o período pós-colheita, o metabolismo dos frutos se mantém, caracterizando-se uma corrida contra o tempo no controle da logística e manejo, visando prolongar o seu prazo de conservação, mantendo-se frescos e hábeis para o consumo humano (ZARO, 2018; CARDOSO *et al.*, 2022).

A demanda por produtos hortícolas frescos tem-se demonstrado em ascensão, entretanto, atualmente abastecer grandes metrópoles como o Rio de Janeiro e São Paulo, na perspectiva nacional, é um enorme desafio. Visando contornar essa problemática, atrelada ao manejo e contenção dos aspectos fisiológicos pós-colheita dos frutos, destaca-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas que preservem ao máximo a qualidade sensorial e nutricional dos produtos alimentícios, mantendo-os seguros para o consumo (HERNANDES, 2006; CARDOSO *et al.*, 2022).

Neste sentido, a aplicação de tecnologias específicas sobre alimentos, apresenta grande relevância na aplicação de metodologias processuais que possam de certa forma reduzir perdas, aumentando o aproveitamento de subprodutos e disponibilidade de alimentos através do prolongamento da sua vida útil, mantendo a sua qualidade física e sensorial (LOBO, 2017).

Nesta interface, diversas metodologias que são utilizadas com o objetivo de proporcionar reduções nas perdas e preservar a qualidade dos alimentos, pode-se destacar a refrigeração, o congelamento, o branqueamento, a pasteurização, a liofilização e a desidratação (CARDOSO E LOBO, 2021; SOUZA *et al.*, 2021; ELPÍDIO, 2021).

5. *Desidratação por camada de espuma (foam mat drying)*

A desidratação em camada de espuma ou “*foam mat drying*” é um procedimento relativamente antigo, embora tenha ganhado especial atenção mais recentemente, principalmente por conta de suas inerentes vantagens quando comparado às outras técnicas de secagem mais tradicionais. A técnica foi desenvolvida na década de 1950 na Califórnia, EUA, e patenteada em 1961 (MARQUES, 2009). É caracterizado como um

método de simples emprego em relação ao processo, sendo capaz de secar alimentos sensíveis a altas temperaturas, com alto teor de açúcar e alimentos viscosos, retendo e/ou aumentando compostos inerentes que dão face a sua qualidade nutricional, tais como substâncias voláteis e sensíveis e, compostos bioativos quando aplicável, visto que se utiliza de temperaturas mais baixas e abrandadas, utilizando-se de um menor tempo de secagem ao final. Este fato derivasse do movimento exercido pela água, através de forças capilares, permeando uma película líquida que separam as bolhas das espumas formadas, otimizando a saída do conteúdo aquoso do material, no formato de vapor (SANGAMITHRA *et al.*, 2015; LOBO, 2017).

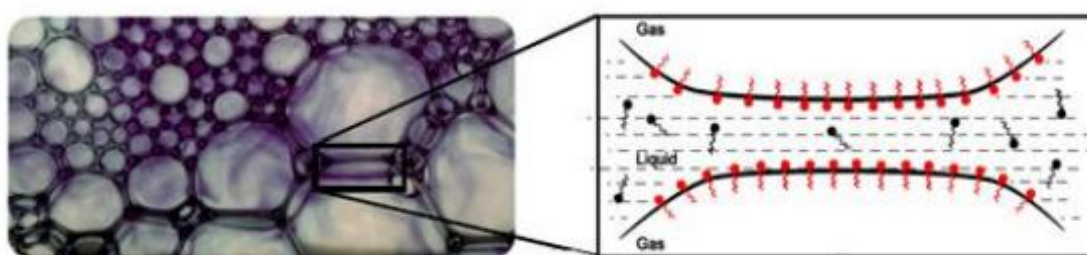
O processamento de matrizes alimentares através da utilização da metodologia consagra-se como um processo que almeja a conservação principalmente de alimentos pastosos, como polpas de frutas, purês ou líquidos como suco de frutas, incorporando-os de determinados aditivos que irão atuar como agentes, na formação de espumas, com característica estável que então será submetida a temperatura para a desidratação (LOBO, 2017). Para que o processo seja eficiente, as espumas formadas precisam adotar características específicas mantendo-se mecanicamente e termodinamicamente estáveis durante o período de exposição da amostra no ambiente térmico. De forma usual os agentes utilizados nesta técnica, possui característica polimérica e possui alto peso molecular, apresentando-se na forma hidrossolúvel quando em solução (SANGAMITHRA *et al.*, 2015). Muitos alimentos, de forma espontânea, contêm em sua composição proteínas de característica solúvel e monoglicerídeos capazes de atuar na formação de espumas mediante agitação, no entanto, as espumas podem não ser, do ponto de vista tecnológico, adequadas para prosseguir no sistema de secagem, obtendo-se sucesso no procedimento operacional exigido pela técnica (SANKAT & CASTAIGNE, 2004).

Esse fato, justifica então, a adição de um agente espumante, tais como as proteínas, sejam elas de origem vegetal ou animal, como exemplo a albumina, ésteres de ácidos graxos e monoesterearatos de glicerol, como fatores primordiais para a transformação do líquido em espuma e otimização do processo.

Reconhecidamente, a espuma é a dispersão de um fluido com característica “hidrofóbica” (afinidade por compostos lipídicos), em um líquido com característica “hidrofílica” (afinidade direta por compostos aquosos). De uma forma geral, ela apresenta-se similar a uma emulsão, possuindo em sua estrutura gotículas com

características gasosas, cobertas por um líquido contínuo, caracterizando-se como um sistema instável na perspectiva termodinâmica (HERNANDES, 2006). A produção da maioria das espumas requer a implementação de uma fonte de energia, seja ela mecânica ou manual, através de alta pressão de homogeneização ou batimento, para a formação desta interface gás-líquido, essencial durante o ciclo de aquecimento da amostra. Quando relaxadas, as espumas tendem a liberar a energia implementada, tornando-se de modo inerente instáveis, por conta de um efeito de desagregação (FREITAS, 2016). A Figura 5 apresenta de forma ilustrativa a organização molecular dos sistemas espumados.

Figura 5. Vista da organização molecular geral dos sistemas espumados



Fonte: FREITAS, 2016.

A adsorção de partículas em uma interface gás-líquido demanda uma energia maior que a força de adsorção em moléculas tensoativas. Desse modo, as partículas podem se adsorver irreversivelmente nessas interfaces, aumentando significativamente a estabilidade da espuma, ou seja, espumas formadas em soluções contendo pequenas partículas de algum agente surfactante, como peptídeos e aminoácidos, pode ser muito estáveis, onde as “nanopartículas” se adsorve na superfície do filme líquido que forma a bolha, mantendo as duas interfaces separadas. Quanto mais finas as partículas, maior a estabilidade da espuma formada.

Entretanto, em casos específicos, apenas adicionar agentes espumantes pode não ser o suficiente para produzir uma espuma estável e, devido a este fato, comumente é aplicado coadjuvantes que visam estabilizar a espuma formada. A falta de estabilidade da espuma durante o ciclo de aquecimento da matriz alimentar, é uma dificuldade encontrada no processo de secagem pela técnica *foam mat*, pois se a espuma não permanece estável, podem ocorrer prejuízos graves à operação como um todo. Por isso, torna-se necessário que se tenha uma otimização processual por meio da redução de sua tensão de superfície (PERNELL *et al.*, 2002).

A redução da tensão de superfície entre os líquidos ou sólidos/ líquidos, evita o colapso das espumas e facilita a sua formação e manutenção por longos períodos de tempo quando em temperatura ambiente (CARDOSO; LOBO e TEODORO 2023). De forma geral, se as espumas formadas não sofrerem colapso na lacuna temporal de até 1 hora após sua formação, quando em temperatura ambiente, elas são consideradas mecanicamente e termodinamicamente estáveis do ponto de vista tecnológico, sendo aptas para iniciar o processo de secagem (LOBO, 2017).

Uma vez identificada dessa aptidão, a espuma produzida é distribuída em bandejas, grandes e planas, de baixa espessura e, posteriormente levadas ao equipamento no qual ocorrerá o processo de secagem, sendo submetida então a temperaturas que geralmente não ultrapassam a faixa de 80 °C (BRENNAN, 2006)

Destaca-se que o processamento de matrizes alimentares via *foam mat drying*, oferece diversas e numerosas possibilidades comerciais, utilizando-se de menor tempo de secagem devido à sua elevada área de exposição ao ar aquecido, o que garante otimização na retirada da umidade do material a ser seco. Mesmo o volume de gases presentes no sistema espumado tender a reduzir a transferência de calor, a taxa de secagem é relativamente elevada, trazendo como vantagem ao processo, a obtenção de um pó com característica pulverizada, de melhor qualidade e de fácil reconstituição em um menor tempo operacional (LOBO, 2017; CARDOSO E LOBO, 2021).

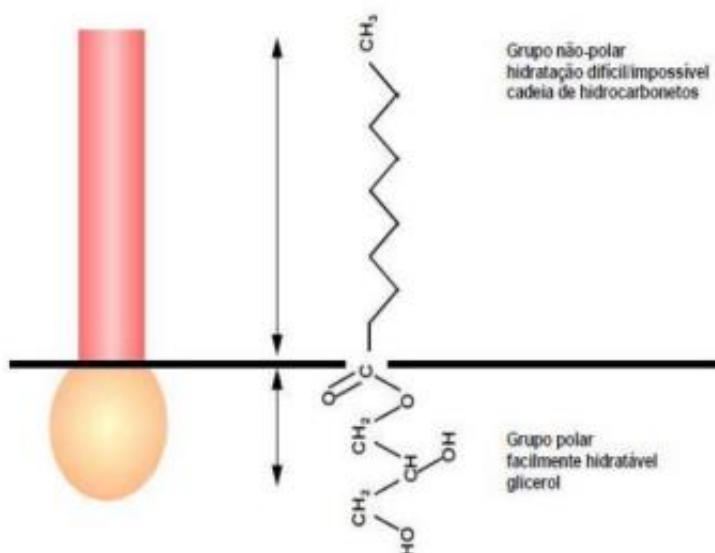
Já as desvantagens associadas à aplicação desta técnica de desidratação, podem estar ligadas diretamente a necessidade de equipamentos que suportem a grande área superficial demandada, o que torna a operação custosa do ponto de vista financeiro, uma vez que requer, em casos específicos, investimentos para a aquisição de maquinários. Além disto, dependendo do aditivo selecionado no trâmite operacional de obtenção da espuma, podem ocorrer de forma inevitável, tanto modificações de características sensoriais e nutricionais originais da matéria prima utilizada tais como sabor, aroma e cor, quanto um colapso, comprometendo a qualidade da operação e conseqüentemente do produto (FRANCIS, 2000; GURGEL, 2014).

6. Aditivos espumantes

Os aditivos que são utilizados na técnica de desidratação em camada de espuma, categorizam-se no grupo dos emulsificantes ou emulsionantes. Esse grupo de moléculas configuram-se como moléculas capazes de formar ou manter uma mistura (solução)

uniforme de duas ou mais fases imiscíveis numa matriz alimentar. Segundo conceito descrito na legislação vigente em território nacional, a Portaria SVS/MS nº 540 de 1997 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA (ANVISA, 1997), essas substâncias possuem a função de aumentar a estabilidade de emulsões, sendo normalmente caracterizadas do ponto de vista químico como moléculas ambifílicas, ou seja, possuem em uma mesma molécula uma porção polar (hidrofílica, sendo solúvel em água) e uma porção apolar (hidrofóbica/ lipofílica, sendo insolúvel em água e solúvel em compostos orgânicos), conforme demonstra a Figura 6 (RAMOS, 2013).

Figura 6. Estrutura típica das moléculas emulsificantes



Fonte: Ramos (2013).

A emulsificação de líquidos e semilíquidos no processo de obtenção das espumas, desempenha um papel importante no desenvolvimento da consistência e textura do material, bem como atua na dispersão de fases e na solubilização de compostos aromáticos da matriz (ELPÍDIO, 2021). A propriedade de formação e estabilização de emulsões é a principal característica a ser influenciada pela adição de emulsificantes em alimentos, controlando a aglomeração de glóbulos de gordura e estabilizando sistemas aerados, como no caso das espumas (GURGEL, 2014).

No processo de *foam mat drying*, é requerido a adição deste tipo de agente, visando diminuir a tensão superficial entre o líquido e a fase gasosa das espumas. Para tanto, podem ser utilizados proteínas, gomas, monoglicéridos e outros (BENKOVIC *et*

al., 2016). Entretanto, como já explicitado, o tipo de aditivo a ser inserido na mistura de solução, pode modificar algumas características sensoriais do produto base. Levando este aspecto em consideração, é de grande importância o conhecimento das propriedades físico-químicas e tecnológicas do aditivo selecionado, além das concentrações ideais a ser utilizado em diferentes matrizes, uma vez que a espuma obtida, deverá ser capaz de tolerar a eventos diferentes, relacionados a operações mecânicas, como bombeamento, espalhamento, além da secagem propriamente dita (CRUZ *et al.*, 2013).

Dentre os mais variados tipos de agentes emulsificantes utilizados nas indústrias alimentícias, as proteínas assumem certo papel de destaque, configurando-se como um macronutriente que permite a execução de diversos fenômenos bioquímicos e tecnológicos básicos, tais como difusão, ligações, reações químicas e mudanças conformacionais (SCHAVEMAKER; POOLMAN, 2018).

A proteína é um macronutriente constituído por monômeros de aminoácidos ligados por ligações peptídicas, no qual desempenha diversas funções nos seres vivos e sistemas biológicos, atuando como constituinte na formação muscular, promovendo seu crescimento e a reconstrução dos tecidos. Nos alimentos, propriamente dito, além da função estrutural, as proteínas também são responsáveis por características sensoriais da matéria prima e disponibilidade de aminoácidos essenciais para o organismo humano.

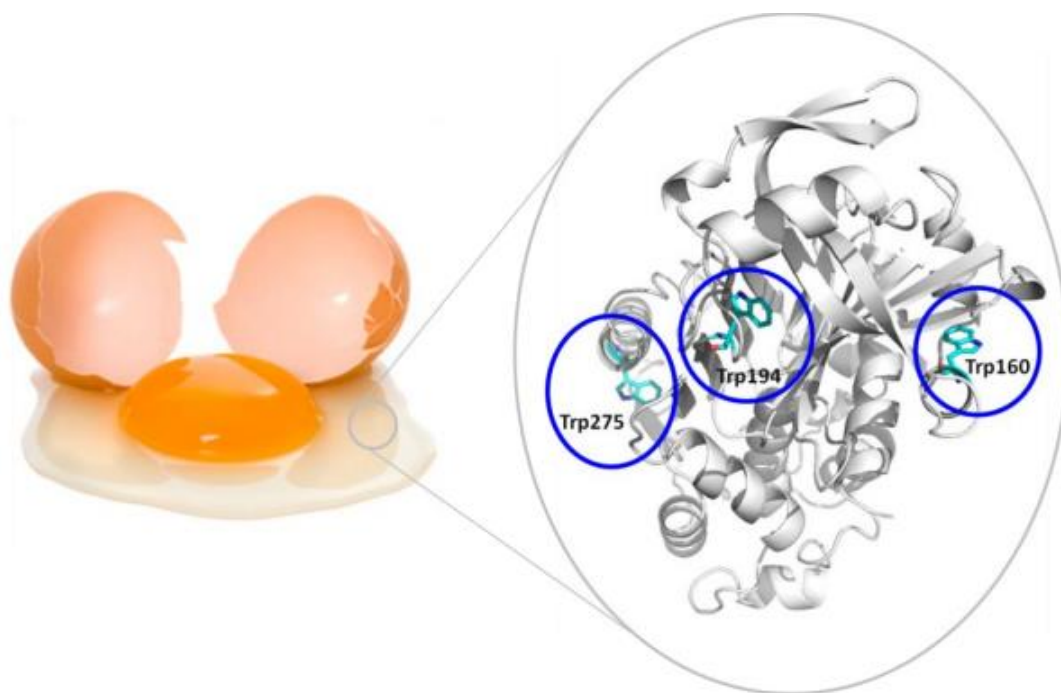
Além da bioatividade relacionada às proteínas, os peptídeos obtidos de hidrolisados proteicos provenientes de alimentos possuem propriedades importantes do ponto de vista tecnológico, tais como agente de incremento na formação de espumas e emulsões (CHO *et al.*, 2014), contribuindo ainda para o aumento do teor proteico de produtos e subprodutos de baixo conteúdo, o que se torna de grande valor para as indústrias de alimentos (CHALAMAIAH *et al.*, 2018).

6.1 Ovoalbumina

No grupo das proteínas, a albumina do ovo ou “ovoalbumina”, destaca-se como uma molécula de alto potencial tecnológico, possuindo propriedades funcionais de interesse na formação de espumas e sistemas espumosos. A ovoalbumina é uma proteína de alto valor biológico, contida em altas concentrações na clara do ovo. Os componentes que fazem parte de sua estrutura (Figura 7) a classifica no grupo das “fosfoglicoproteínas”, principalmente por ela conter carboidratos e fosfatos ligados ao

polipeptídio. Essa proteína compõe cerca de 54% das proteínas totais da clara de ovo, possuindo um ponto isoelétrico que gira em torno de 4,5 (FENNEMA, 2019).

Figura 7. Estrutura típica da molécula de ovoalbumina



Fonte: Dantas *et al.* (2017).

Reconhecida pelo excelente perfil nutricional e excelente desempenho tecnológico, essas proteínas oriundas da clara do ovo, são amplamente utilizadas nos processos industriais, que visam a obtenção de novos produtos ao mercado de alimentos processados. Estas características, fomentaram a industrialização dos ovos de galinha, no intuito de obter subprodutos que serão incorporados em processos fabris, tais como maioneses, produtos de panificação e confeitaria, sorvetes e massas, dentre outros que utilizam de derivados de ovos em sua formulação, agregando valor nutricional e otimizando as operações (ELPÍDIO *et al.*, 2020).

O potencial tecnológico destas proteínas está intimamente ligado ao enfraquecimento e quebra das ligações de hidrogênio e dissulfídicas, que alteram a conformação estrutural das moléculas, às desestabilizando, na presença de calor durante o processo de batimento, às desnaturando e levando a uma agregação, formando uma rede proteica de forma orientada e organizada (ELPÍDIO, 2021).

A espuma obtida pela incorporação de ovoalbumina, desempenha um importante papel em inúmeros produtos alimentares pois os torna leves no aspecto físico, com redução de sua densidade e contribui para a sua expansão na interface de volume (GURGEL, 2020). Em tempo, destaca-se que o batimento da solução, quando realizado em excesso, pode incorporar muito ar, tornando as nano moléculas de proteína mais finas e menos elásticas.

No processo operacional do *foam mat drying*, a manutenção da elasticidade das moléculas proteicas é necessária, especialmente quando se utiliza de sistemas espumados que vão ser assados, de modo que, antes da proteína ser coagulada pelo calor do forno, devido ao processo de desnaturação, o ar incorporado possa expandir-se sem que haja o rompimento das paredes celulares, permitindo a obtenção de um produto em pó com características tecnológicas, funcionais e nutricionais adequadas e de excelência (GURGEL, 2020).

7. Produtos em pó: características tecnológicas e funcionais

Normalmente, as polpas e os sucos de frutas *in natura* podem ser armazenados por períodos curtos, que variam de dias há meses quando em congelamento e em condições controladas, enquanto os seus sub produtos em pó, podem ser conservados por meses ou até mesmo por anos, dependendo da embalagem e condições de armazenamento (SHISHIR *et al.*, 2018).

Seja qual for o método empregado no processo de obtenção de produtos em pó, espera-se que em seu resultado final, de alguma forma, ocorra a redução da atividade de água e umidade, proporcionando o prolongamento de forma espontânea da vida útil do produto, além de facilitar o armazenamento e transporte, por diminuir a massa e volume, tornando a operação de secagem uma alternativa para a diversificação de mercados, fomentando a redução de perdas pós-colheita e a obtenção de produtos diversos e estáveis (RAUPP *et al.*, 2009).

Neste cenário, as indústrias do ramo alimentar, tem-se empenhado no desenvolvimento de uma gama de subprodutos em pó, sendo possível hoje em dia, encontrar para além dos tradicionais, como exemplo, o café, leite, achocolatados e temperos, muitas frutas e vegetais, que potencializam na perspectiva dietética, uma forma alternativa de consumo destas matrizes, oportunizando a oferta de nutrientes e compostos específicos presentes em cada tipo de matriz alimentar (SHISHIR *et al.*, 2018).

Dentre as múltiplas aplicações dos alimentos em pó, pode-se destacar a diluição do produto em um líquido para consumo no formato de bebida, à adição em misturas e preparações alimentícias e/ ou culinárias, o consumo no formato de suplementação de nutrientes e compostos bioativos na alimentação, dentre outros (ELPÍDIO, 2021). Neste cenário, às análises para a caracterização dos produtos em pó, quanto às suas propriedades físico-químicas e bioativas, são extremamente importantes, tanto para validar o impacto do processo de secagem sobre aquela matriz alimentar, quanto para verificar a qualidade geral deste alimento no formato de pó, se ele é ou não uma forma viável de inserção em operações industriais.

As frutas caracterizam-se principalmente pela elevada presença de açúcares no estado amorfo em sua composição (sacarose, frutose, glicose) e estes, em razão de sua estrutura química, com terminais polares, são responsáveis por fortes interações com a molécula de água presente no ambiente, tornando-as altamente higroscópicas (CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005). Essa característica é um ponto crítico de controle no processo de secagem desta matriz alimentar, sendo de extrema importância o monitoramento específico deste componente.

Esse fenômeno de absorção de água, no qual as polpas de fruta em pó estão suscetíveis, às levam a uma condição de risco de deterioração física, no qual é denominado “*Caking*”. Popularmente, o *caking* é conhecido como aglutinação ou empedramento e, caracteriza-se como um processo pelo qual o pó, de baixa umidade, com um alto potencial de coesão e fluidez, vai se aglomerando e forma um material pastoso, com perda da funcionalidade e qualidade (AZEREDO; BRITO, 2012).

A ocorrência desse fenômeno, depende, principalmente, da temperatura e da umidade relativa do ambiente no qual esse material é armazenado, e envolve algumas fases específicas, incluindo: a formação de pontes de ligação entre as partículas, a aglomeração de substâncias intrínsecas da composição, a compactação do material e a liquefação (AZEREDO; BRITO, 2012).

A formação das pontes é o início do processo de *caking*, e ocorre como resultado da deformação da superfície das partículas e a adesão em pontos de contato entre elas, mas não leva a uma redução mensurável na porosidade do sistema. Já a aglomeração envolve, um processo de consolidação da fase anterior, sendo irreversível a desintegração das pontes formadas, migrando para a formação de torrões, mas ainda assim, mantendo a

porosidade e um módulo de finura baixo das partículas. A fase de compactação está intimamente associada, à perda da integridade do sistema como um todo, onde há o espessamento das pontes formadas na fase inicial, causando redução da porosidade do pó e deformação das partículas. Na fase final, as pontes estabelecidas entre as partículas são desintegradas, como resultado do processo de liquefação da estrutura, onde geralmente, envolve a solubilização de frações de baixo peso molecular, fazendo com que o material apresente comportamento higroscópico (AZEREDO; BRITO, 2012).

Em virtude do exposto, a realização das análises de caracterização dos pós produzidos com interesse de utilização pela indústria de alimentos e bebidas, quanto as suas propriedades físico-químicas e bioativas, é fundamental, tanto para que seja avaliado o impacto da secagem sobre o produto, quanto para validar e verificar a qualidade geral deste alimento sob uma nova conformação (ELPÍDIO, 2021) uma vez que além de haver o impacto da secagem, a estabilidade do produto final ainda é muito susceptível às variações ambientais, podendo ocorrer fenômenos indesejáveis, como já citado. Por isso, conhecer as características inerentes a cada material proporciona a melhoria geral do processo e conseqüentemente a obtenção de um produto com qualidade superior (GURGEL, 2020).

Referências

- ABRAFRUTAS – Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. **Estatísticas de exportações de frutas no primeiro semestre de 2019**. Brasília, 2019.
- Abu-Reidah, I. M.; Arráez-Román, D.; Segura-Carretero, A.; Fernándezgutiérrez. (2013). Profiling of phenolic and other polar constituents from hydro-methanolic extract of watermelon (*Citrullus lanatus*) by means of accurate-mass spectrometry (HPLC–ESI–QTOF–MS). *Food Research International*, v. 51, p. 354–362.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.033>
- Ason-d’croz, D. *et al.* (2019). Gaps between fruit and vegetable production, demand, and recommended consumption at global and national levels: an integrated modelling study. *The Lancet Planetary Health*. v. 3, n. 7.
[https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30095-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30095-6)
- Azeredo, H. M. C.; Brito, E. S. Alterações físicas em alimentos durante a estocagem. *In*: Azeredo, H. M. C. (Ed.). Fundamentos de estabilidade de alimentos. 2 ed. rev. ampl. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012. p. 80 – 82.
- Benković M, Srečec S, Bauman I, Ježek D, Karlović S, Kremer D, *et al.* (2016). Avaliação das características de secagem e textura em relação a caracteres micromorfológicos de vagens e sementes de alfarroba (*Ceratonia siliqua L.*). *Food Technol Biotechnologia*. 54 (4):432
40. <https://doi.org/10.17113/ftb.54.04.16.4475>
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira**. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. – 2. ed., 1. reimpr. – Brasília: Ministério da Saúde, 2014. 156 p.: il.
- Brazil. Ministry of Health. National Health Surveillance Agency (ANVISA). Ordinance nº. 540 of October 27, 1997. Technical Regulation: Food Additives – definitions, classification and use. **Federal Official Gazette (DOU)**. Brasília, DF: Executive power, 28 out. 1997.
- BRENNAN J. G. (2006). **Food Processing Handbook**. 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, p. 85-95.

- Bruins, M. J.; Van Dael, P.; Eggersdorfer, M. (2019). The role of nutrients in reducing the risk for noncommunicable diseases during aging. *Nutrients*, v. 11, n.1. <https://doi.org/10.3390/nu11010085>
- Calai, F. A. **Produção e qualidade de frutos de amoreira preta submetida a diferentes intensidades de podas**. 2019. 48p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS, 2019.
- Cardoso, C. E. F., Lobo, F. A. T. F., Teodoro, A. J. (2022). Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 63, p. 1 – 15. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2159922>
- Cardoso, C. E. F.; Trindade, M. E. F.; Coelho, C.; Teodoro, A.; Freitas-Silva, O. (2022). Qualitative and Safety Aspects in the Camu-Camu Production Chain. *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, 16. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v16i0.7312>
- Carlos, L.A., Resende, J.V., & Cal-Vidal, J. (2005). Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções modelo de açúcares constituintes de frutas. *Brazilian Journal Food Technology*, 8(2), 163-173.
- Cavalini, F. C. **Índices de maturação, ponto de colheita e padrão respiratório de goiabas “Kumagai” e “Paluma”**. 2004. 80p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências, Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.
- Chalamaiah, M.; Yu, W.; Wu, J. (2018). Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review. *Food Chemistry*, 245, 205-222. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.087>
- Chen, D.; Huang, C.; Chen, Z. (2019). A review for the pharmacological effect of lycopene in central nervous system disorders. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v. 111, p. 791–801. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.151>
- Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B. **Pós-Colheita de Frutos e Hortalças –Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. Lavras: ESAL/ FAEPE, 2005. 785 p.
- Cho, D.; Jo, K.; Young Cho, S.; Man Kim, J.; Lim, K.; Joo Suh, H.; & Oh, S. (2014). Antioxidant effect and functional properties of hydrolysates derived from egg-white protein. *Korean Journal of Food Science and Animal Resources*, 34, 362–371. <https://doi.org/10.5851/2Fkosfa.2014.34.3.362>

- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. Balanço 2019 e perspectivas 2020. Brasília: CNA, 2020. <https://www.cnabrazil.org.br/paginas-especiais/balanco-2019-e-perspectivas-2020>.
- Costa, A. B. **Compostos fenólicos, capacidade antioxidante e minerais em cascas de melancia “Manchester” e “smile” provenientes de resíduos do processamento**. 2017. 45p. Tese de doutorado (Doutorado em Nutrição Humana) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.
- Costa-Rodrigues, J.; Pinho, O.; Monteiro, P. R. R. (2018). Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease?. *Food Chemistry*, v. 245, p. 1148-1153. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.055>
- Cruz, W.F. **Obtenção de polpa de goiaba (Psidium guajava L.) em pó pelo método de secagem em cama de espuma**. 2013. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG.
- Dias, R. C. S.; Santos, J. S. (2019). Panorama nacional da produção de melancia. Campo & Negócio - Informe técnico, Hortifruti. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1104558/1/Rita2019.pdf>
- Dias, R. C. S.; Costa, N. D.; Queiróz, M. A.; Faria, C. M. B. (2001). **Cultura da Melancia**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. 20p. (Circular Técnica, 63).
- Edwards AJ, Vinyard BT, Wiley ER, Brown ED Collins JK, Perkins-Veazie P, *et al.* (2003). Consumption of watermelon juice increases plasma concentrations of lycopene and β -carotene in humans. *Journal Nutr.*; 133(4):1043-50. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1043>
- Elpídio, C. M. A., A. K. T. Machado, J. A. Oliveira, and M. F. D. Medeiros. (2020). Plum drying by foam layer method: Study on process variables and powder quality. In Science, technology and innovation: Challenge for a global world 4, ed. F. B. M. Tullio and L. M. B. Machado, Vol. 1, 1st ed., 76–92. Ponta Grossa, PR: Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4422026068>
- FAO. Fruit and vegetables – your dietary essentials. **The International Year of Fruits and Vegetables, 2021, background paper. In: Fruit and vegetables – your dietary essentials**. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb2395en>
- Figuroa, L. E.; Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *Food Science and Technology*, v. 111, p. 423-428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>

- FRANCIS, F. J. (2000). **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. v. 1. 2907 p.
- Freitas, R. C. P. **Caracterização do processo de secagem em leite de espuma para obtenção de pó de manga ubá**. 2016. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2016.
- Fusi, F.; Trezza, A.; Tramaglino, M.; Sgaragli, G.; Saponara, S. Spiga, O. (2020). The beneficial health effects of flavonoids on the cardiovascular system: Focus on K⁺ channels. *Pharmacological Research*, v. 152, n. 104625.
<https://doi.org/10.1016/j.phrs.2019.104625>
- Gomes, P. **Fruticultura Brasileira**. 13 ed. São Paulo: Nobel, 2012. 446 p.
- Gurgel, C. E. M. R. **Produção de pó de banana verde e madura através da secagem em camada de espuma – otimização das condições de processo e avaliação do produto**. 2020. 120 f. Tese (doutorado) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia química, Programa de pós-graduação em Engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN.
- Hernandes, N. K. **Aplicação de baixas doses de radiação gama para extensão da vida útil de beterraba vermelha (*Beta vulgaris ssp. vulgaris L.*), cv. early wonder, minimamente processada**. 2006. 107 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- HONORATO, H. S. **Efeito dos fosfitos, ozônio e revestimentos de amido na qualidade pós-colheita de goiaba (*Psidium guajava L.*)**. 2019. 86p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.
- Iha, S. M.; Migliato, F.K.; Velloso, C.J.; Sacramento, S.V.L.; Pietro, R.C.L.; Isaac, B.L.V.; Brunetti, I.L.; Correa, A.M.; Salgado, H.R.N. (2008). Estudo fitoquímico de goiaba (*Psidium guajava L.*) com potencial antioxidante para o desenvolvimento de formulação fitocosmética. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v.18, p.387-393. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2008000300013>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário – Produção agropecuária. 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/> >. Acesso em: 12 mar. 2023.

- Lee, S.K.; Kader, A.A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology Technology*, p.20, v. 207–220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Lobo, F. A. T. F. **Desidratação de polpa de manga da variedade Tommy Atkins por Foam Mat Drying, visando à retenção de compostos bioativos e à formulação de alimentos com apelo de funcionais**. 2017. 158 p. Tese (Doutorado em Ciências Aplicadas a Produtos para Saúde) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- Marouelli, W. A.; Braga, M. B.; Andrade Júnior, A. S. **Irrigação na cultura da melancia**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2012. (Circular Técnica 108). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/942564/1/ct1081.pdf>
- Marques, G. M. R. **Secagem do caldo de cana em leito de espuma e análise sensorial do produto**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga – BA.
- Medina, J.C. (1988). Goiaba: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. *Rev. Ampl. Campinas*, 2 ed, p.1-120.
- Nascimento, I. R.; Santos, L. B.; Santos, G. R.; Erasmo, E. A. L. Taxonomia e sistemática, centro de origem e morfologia da melancia. *In*: Santos, G. R.; Zambolim, L. (Ed). **Tecnologias para produção sustentável da melancia no Brasil**. Gurupi: Universidade Federal do Tocantins, p. 11-14, 2011.
- Neto, L. G.; Bezerra, L. E. F.; Costa, R. S. (2003). Evaluation of guava genotypes in the submiddle of san francisco valley. *Revista Brasileira de Fruticultura.*, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 3, p. 480-482. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000300030>
- Pereira, D. R. M. **Desempenho agrônômico da melancia por semeadura direta e transplântio de mudas**. 2017. 68p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- Perkins, P.; Collins, J.; D Pair, S.; Roberts, W. (2001). Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *Journal Of the Science of Food and Agriculture*, v. 81, n. 10 p. 983-987. <https://doi.org/10.1002/jsfa.880>
- Perkins-Veazie, P.; Collins, J. K. (2004). Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, v. 31, cap 2, p. 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2003.08.005>

- Pernell, C. W. *et al.* (2002). Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 204, n.1, p. 9-21. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(01\)01061-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)01061-5)
- Queiroz, A.V.; Berbet, P.A.; Molina, M.A.B.; Gravina, G.A.; Queiroz, L.R.; Silva, J.A. (2008). Qualidade nutricional de goiabas submetidas aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem complementar por convecção. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.28, n.2, p.329-340. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200010>
- Ramos, P. S. R. **Influência de emulsificantes e da enzima transglutaminase no desenvolvimento de pães modeláveis sem glúten**. 2013. 80 f. Dissertação - (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ.
- Raupp, D. S.; Gabriel, L. S.; Vezzano, A. F.; Daros, P. A.; Chrestani, F.; Gardingo, J. R.; Borsato, A. V. (2007). Tomate longa vida desidratado em diferentes temperaturas de secagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, p. 33-39. <http://ri.uepg.br:8080/riuepg/handle/123456789/427>
- Resende, G. M.; Costa, N. D.; Dias, R. C. S. **Densidade de plantio na cultura da melancia no vale do São Francisco**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido. Jan. 2006. (Comunicado Técnico)
- Ribeiro, Brenno Barbosa. **Aspectos comerciais da cultura da goiaba no Brasil**. 2021. 37 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- Rozane, D. E.; Oliveira, D. A.; Lirio, V. S. (2003). Importância econômica da cultura da goiabeira. *Cultura da goiabeira: Tecnologia e mercado*. Viçosa: UFRV, p. 1-20. http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livrogoiaba_pdf/13_importanciaeconomica.pdf
- Ruehle, G. D. (1964). El cultivo de la guayaba en la Flórida. *Agriculture Tropical*, v. 20, n.10, p. 555-564.
- Sangamithra, A. *et al.* (2015). Foam mat drying of muskmelon. *International Journal Food Engineering*, [S.l.], v.11, n.1, p.127-137. <http://dx.doi.org/10.1515/ijfe-2014-0139>
- Sankat, C. K.; Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behavior of ripe bananas. *LWT*, v. 37, p. 517-525. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00132-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00132-4)

- Santos, C. X. **Caracterização físico-química e análise da composição química da semente oriunda de resíduos agroindustriais**. 2011. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Engenharia de alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2011.
- Schavemaker, P. E., & Poolman, B. (2018). (Membrane) Protein Production in Context. *Trends in biochemical sciences*, 43(11), 858–868.
<https://doi.org/10.1016/j.tibs.2018.08.009>
- Shishir, M.; Taip, F.; Aziz, N.; Talib, R. (2014). Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 2, p. 74- 81. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.011>
- Sousa, R. P., Lobo, F. A. T. F, Montes, L. T. P., & Araújo, K. G. L. (2020). Secagem da polpa de goiaba (*psidium guajava*) da variedade Pedro Sato pelo método foam mat drying para aplicação em alimentos. *Revista Da Associação Brasileira De Nutrição - RASBRAN*, 10(2), 59–65.
<https://www.rasbran.com.br/rasbran/article/view/1619>
- Sousa, V. F.; Nunes, G. M. V. C.; Zonta, J. B.; Araújo, E. C. E. (2019). Tecnologias para a produção de melancia irrigada na baixada maranhense. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Cocais, São Luiz, 139 p.
- TACO – Tabela brasileira de composição de alimentos, 4a edição, UNICAMP, 2011.
- Vidal, M. F. Produção comercial de frutas na área de atuação do BNB. *Caderno Setorial Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE*, v.6, n° 168, 2021.
- WHO. Healthy diet fact sheet no. 394. Geneva (Switzerland): World Health Organization: 2018. <https://www.who.int/publications/m/item/healthy-diet-factsheet394>
- Zaro, M. **Desperdício de alimentos: velhos hábitos, novos desafios**. 2.ed. Caxias do Sul – RS: Educs, 2018. 419p.
- Zu, K.; Mucci, L.; A Rosner, B.; Clinton, S.; Loda, M.; J Stampfer, M.; Giovannucci, E. (2014). Dietary Lycopene, Angiogenesis, and Prostate Cancer: A Prospective Study in the Prostate-Specific Antigen Era. *Journal of the National Cancer Institute*, v. 106, n. 2, p. 1-10. <https://doi.org/10.1093/jnci/djt430>

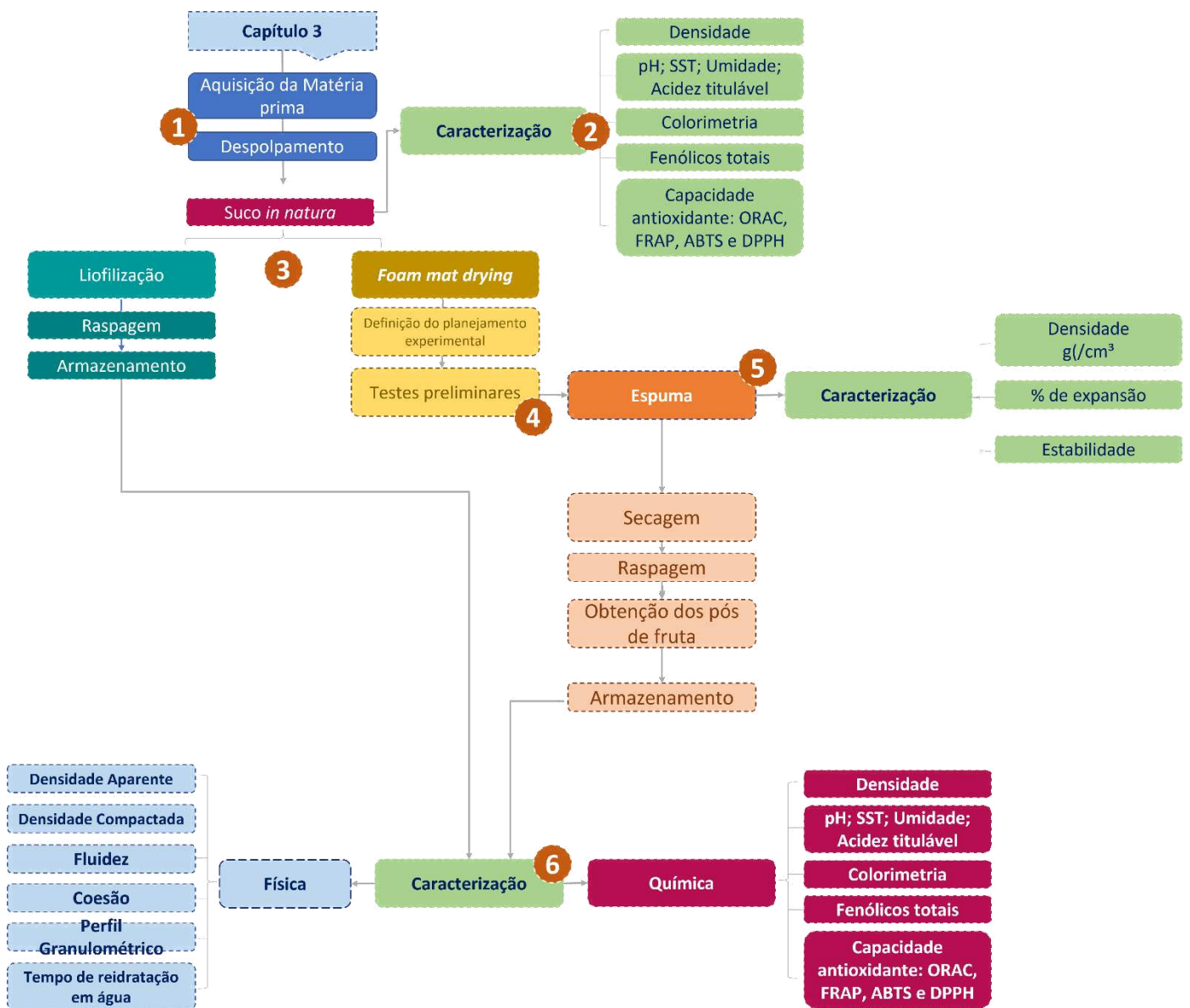
Esboço da pesquisa
Elaboração dos manuscritos

Figura 1. Representação gráfica do processo de obtenção dos resultados apresentados no Capítulo 2



Fonte: Autor, 2023. O Fluxograma 1 apresenta o plano de trabalho realizado na obtenção dos resultados apresentados no Capítulo II deste estudo. **Nota:** **1.** Após a delimitação do tema, foram selecionados descritores específicos para iniciar as buscas na literatura; **2.** Seleção, triagem, elegibilidade e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão delimitados pela equipe de pesquisa; **3.** Na sequência, em posse dos estudos selecionados nas bases de dados, iniciou-se a redação do trabalho a ser submetido. **4.** Publicação dos resultados.

Figura 2. Representação gráfica do processo de obtenção dos pós de fruta pelo método em camada de espuma



Fonte: Autor, 2023. O Fluxograma 2 apresenta o plano de trabalho realizado na obtenção dos resultados apresentados no Capítulo III deste estudo. **Nota:** **1.** Após aquisição da matéria prima e o seu processamento inicial (higienização e despulpamento), obteve-se os sucos *in natura*; **2.** Os sucos foram submetidos a testes de caracterização físico-químicos delimitados pela equipe de pesquisa; **3.** Na sequência, os sucos foram submetidos ao processo de secagem, por liofilização, para obtenção do controle e por *foam mat*. **4.** Nesta fase foram delimitados os valores ideais de adição do agente espumante, levando em consideração variáveis inerentes do processo, tais como tempo de agitação e características físicas da espuma. **5.** Após delimitar o padrão experimental a ser seguido, a espuma foi preparada, caracterizada quanto aos aspectos físicos e comportamento estrutural e submetida à secagem. **6.** Após secagem, em ambos os métodos, os pós foram submetidos a caracterização de suas propriedades físico-químicas e tecnológicas.

Capítulo 2

Artigo de Revisão

Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits - a review

Full Author Names: Carlos Eduardo de Faria Cardoso^a (ORCID ID: 0000-0002-8206-0212), Francine Albernaz Teixeira Fonseca Lobo^b (ORCID ID: 0000-0001-6702-8604) and Anderson Junger Teodoro^{a,c} (ORCID ID: 0000-0002-0949-9528)

Full Institutional Mailing Addresses: ^aGraduate Program in Food and Nutrition (PPGAN), Federal University of the State of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Av. Pasteur, 296, Rio de Janeiro 22290-240, Brazil; ^bDepartment of Food Science and Nutrition, School of Nutrition, Federal University of the State of Rio de Janeiro, Av. Pasteur, 296, Rio de Janeiro 22290-240, Brazil; ^cDepartment of Nutrition and Dietetics, Faculty of Nutrition, Fluminense Federal University, Rua Mário Santos Braga, 30 Faculty of Nutrition, Room 409, Center 24020140, Niterói, Brazil.

Manuscrito publicado na *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Fator de impacto: 11,208) em 22 de dezembro de 2022. Aponte a câmera do seu celular para o QR Code abaixo e tenha acesso ao artigo formatado na íntegra.

Citation: Cardoso, C. E. F., Lobo, F. A. T. F., Teodoro, A. J. (2022). Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits – a review.

Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 63, p. 1 – 15.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2159922>



Abstract

The consumption of fruits and vegetables is strongly encouraged in the nutritional recommendations presented in national and international guidelines, which strongly advise the intake of these elements as part of a healthy diet. However, this type of food matrix has a low post-harvest durability, making it necessary to apply techniques that extend its shelf life. Among the methods that can be applied, drying acts as a unitary operation of wide use, presenting low operational cost, ease of handling and wide variation of procedural techniques. However, it still remains a methodology seen as “critical” in the food sector, especially when the maximum focus of efforts is to obtain a material of high quality, nutritional and sensorial. In this context, foam layer drying has gained recognition as an effective and low-cost technique, where foam porosity and higher surface area-volume ratio provide high heat and mass transfer rates, reducing process time and improving the physical-chemical quality of the final product. We provide information capable of elucidating that drying requires a large amount of energy for the operation, and that many studies are still needed in order to optimize the process and guarantee the economic, nutritional and functional viability of the final product.

Keywords

Drying kinetics; Foam mat drying; Fruits; Nutritional composition.

1. Introduction

One of the pillars of the food industrialization process is based on maintaining the stability of the food matrix, ensuring the optimization of its shelf life and physical and nutritional characteristics for later commercialization in the consumer market, making it necessary to apply methods of conservation, which limit the development and action of intrinsic and extrinsic factors of the matrix related to deteriorating processes, such as the growth of microorganisms and chemical and enzymatic reactions (Martins et al. 2020).

Among the most varied methods used for the conservation of food matrices, drying is one of the oldest, and is still widely used in the current food scenario. The process consists of a “unit operation”, that is, it is a fraction of a larger process, which is based on the removal, either partial or total, of the water present in a food, through a process that involves the transfer of mass and energy in the form of heat, where a stream

of hot air flows over the material to be dried, this process being mainly governed by convection (a form of heat exchange) (Júnior, 2021).

Water is present in numerous food matrices and is essential for the functional dynamics of the mechanisms developed by living organisms, acting as a solvent and also as a transport vehicle for a variety of reactions (Schwartz et al. 2019). During drying, depending on the amount of water that is removed from the food matrix, it is possible to significantly reduce the speed and proportion rate of the growth of microorganisms and of browning and oxidation reactions, by creating an unfavorable environment for their occurrence (Bell, 2020; Júnior, 2021).

The drying rate is influenced by the various mechanisms involved in heat transfer, such as the vapor pressure of the food and also of the drying air, in addition to the circulating air velocity, exposure temperature, thickness and exposure surface of the matrix to be dry. In industry, in addition to this “conservative” function, drying is also applied to facilitate the transport and storage of raw materials, by reducing the monetary and energy costs involved in the production stage (Schwartz et al. 2019; Júnior, 2021).

The products obtained through dehydration are lighter and less bulky, which facilitates their handling and distribution along the production chain, becoming elements of convenience for the various industries. In other cases, drying has the additional benefit of allowing the marketing of some foods in the off-season (Lobo, 2017). Despite the numerous advantages, as a conservation technique, the products obtained from drying by exposing convective air, may present low general quality, such as low rehydration capacity, structural changes, shrinkage of support structures, in addition to undesirable changes in aspects sensory, nutritional and functional (Zhao et al. 2014).

Currently, there are numerous methodological approaches that can be used in the drying process of food matrices, where each type of drying influences the quality and final physicochemical properties of the product, ranging from more conventional methodologies, such as drying in the sun, by conduction in hot air, to more sophisticated methodologies, such as lyophilization, spray dryer and foam layer drying (Santana and Silva et al. 2021).

Therefore, considering the above-mentioned panorama, this review aims to provide updated information on the drying process of fruit matrices, with emphasis on the foam mat drying method, covering information on the methodological phenomenon

involved in the technique, highlighting relevant points and characteristics of the process, its theoretical foundation, advantages and disadvantages when compared to other methodologies, in addition to the physical-chemical and sensorial parameters obtained in the dry products.

2. Food drying

2.1 Water in food

Water is one of the main components of food matrices, being essential for vital processes inherent to the mechanisms that involve organic compounds, such as chemical, enzymatic and microbiological reactions (Schwartz et al. 2019). Chemically, the aqueous content present in foods has two different conformations, being it in the form of a free molecule or linked to the substrate, characterizing an element of extreme importance in the industrial context, since this fact contributes to the variability of decisions, in the designation of conservation methods to be applied with a focus on the conservation and preservation of the general quality of a food product (Ribeiro and Seravalli, 2007; Lobo, 2017).

The total water content of the food is defined as Moisture (U%), where both the free water content and the water bound to other substrates that are part of the food composition are considered, such as carbohydrates, proteins, fats, bioactive compounds, etc. From the point of view of conservation of the food matrix, free water in food is the one that requires the most attention, being named as water activity (A_w), behaving as an intrinsic factor of the matrix responsible for triggering numerous reactions, of a deteriorating order, by create an environment conducive to its occurrence (Dantas, 2010; Lobo, 2017; Schwartz et al. 2019).

Essentially, a high A_w indicates a potential susceptibility to spoilage reactions in a given food, which is proportional to the speed of these reactions. By decreasing its concentration, it significantly favors the increase in osmotic pressure within the food matrix, potentiating the decrease in the occurrence of deteriorating reactions, enhancing the conservation of the matrix (Lobo, 2017).

Recognizing the behavior of the aqueous component when inserted in the context of the composition of a food matrix, allows for the design and application of more appropriate processing technologies in order to enhance the stability of the food matrix

by reducing water activity, to a greater extent or less, inhibiting the various undesirable reactions (physical, chemical and/or microbiological) (Lobo, 2017).

In this perspective, the drying technique consists of a methodology that acts to reduce the moisture content (in the form of free water - A_w) of food matrices, under specific conditions of temperature, air speed and contact area, with the main objective of maintenance of the overall quality of the product, directly controlling energy expenditure and process time (Martins et al. 2020).

Currently, food drying is not configured only as a simple technique to be used with a focus on the preservation of a certain material, in the current sphere, drying has been configured as an important procedural operation that goes beyond preserving, and can act as a physical, functional and nutritional quality of the product (Qadri and Srivastana, 2020).

The method is a complex process, which is often used by industries in food processing and food matrices and requires a large amount of energy for the operation, and it has numerous advantages, as previously mentioned, which can be pointed out: the enhancement of food preservation, allowing the availability of dry products in off-season or low production periods, reduction of storage and transport costs, due to weight and volume reduction, in addition to enhancing the degree of stability of the functional and aromatics, protecting the dry material from enzymatic and microbiological degradation (Martins et al. 2020).

However, it is worth mentioning that in order to have an evaporation of the aqueous content of the product to be dried by its surface, it is necessary that there is conduction of water from the interior to the periphery in an optimized and fluid way. This movement is evaluated by the mass transfer mechanisms, being dependent on the internal structure of the product, as well as the concentration gradient of the liquids, in addition to external conditions, such as atmospheric pressure and air temperature (Dantas, 2010; Alves, 2014).

In general terms, the mechanisms of transport and conduction of the liquid in the food matrix are divided into three modalities, namely: **1.** Liquid diffusion, where the existence of a concentration gradient, which is increased by the decrease in flow humidity of air or by increasing the temperature, enhances and optimizes drying; **2.** Vapor diffusion, where a vapor pressure gradient between the layers of the drying system

(internal and external) of the product to be dried, accelerates drying. And finally, **3**. The flow of liquid and steam, where the difference in external pressure, capillarity, liquid concentration and high temperature, can, individually or together, accelerate the drying process (Martins et al. 2020; Santana and Silva et al. 2021).

Therefore, it is understood that the composition of the food matrix directly influences the migration and conduction of the aqueous component of the matrix, in the form of steam, in addition to the temperature and relative humidity of the ambient air in which the drying process is taking place. That said, it is important to understand the physical mechanism that occurs in the drying of foods, in the phenomenon known as “drying kinetics”, that is, the way in which this process occurs, through the interpretation of specific curves.

2.2 Principles of drying kinetics mechanisms

As already explored so far, drying is configured as a methodological process aimed at the thermal preservation of foods and food matrices, in which heat and mass transfer energy is intensively used. The study of the drying kinetics and the analysis of its mechanisms aims at knowing how the material subjected to drying will behave during the process, as well as predicting the drying time, helping in the design and development of adequate drying systems for the various foods (Kumar et al. 2022).

Even in the face of singularities and specificities of each food, a central behavior can be observed in the drying process as a whole, where it is identified that during the event of simultaneous transfer of heat and mass in the methodological path, drying can be schematically divided into three phases (P), creating an interposition of three elements that are essential for modeling any curve. **PI**. is characterized by the evolution of the water content of the product; **PII**. is when the product reaches its ideal temperature and **PIII** is marked by mechanisms involved in drying speed. Phases 0_t , t_1 and t_2 of the process are, respectively, the operating regime phase, the constant rate drying phase and the decreasing rate drying phase, as shown in Figure 1 (Martins et al. 2020).

In the initial phase of drying kinetics, the matrix being subjected to the process is heated and, as it is cooler than atmospheric temperature, the surface is rapidly heated until it reaches a value close to the “wet bulb” temperature. This temperature is described as the minimum temperature that must be reached so that there is a thermal equilibrium of

the air surrounding the exposed matrix from the evaporation of water at a constant pressure. At this moment, the heat that is absorbed is mobilized to act on the temperature variation (between the product and the exposure medium), allowing an adaptation to the conditions of the product to the environment, with no changes in the aqueous content of the food at this stage (Alves, 2014; Júnior, 2021).

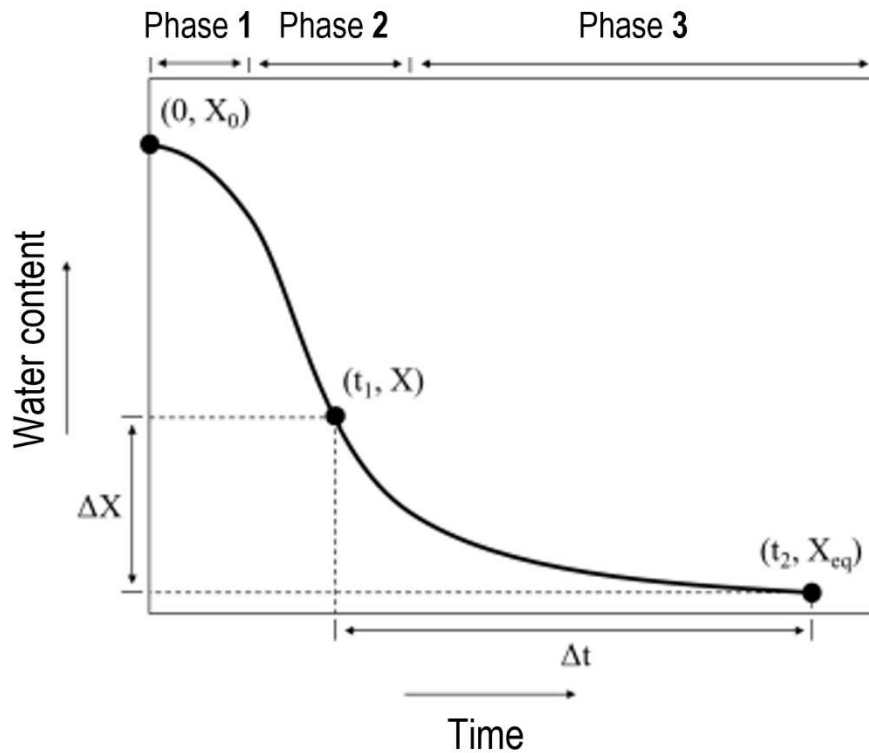


Figure 1 – Schematic representation of a typical food drying curve.

Source: JUNIOR, 2021.

Once the temperature of the “wet bulb” is reached, PII of the mechanism (t_1) begins, at that moment, the rate and speed of drying become constant and the water located in the surface layer of the material begins to evaporate in a more optimized and continuous way (Lobo et al. 2017). As the evaporation process takes place, an equivalent amount of internal liquids migrates to the surface of the food, causing it to remain constantly moist, maintaining a linearity of kinetics over a period, characterized as the phase in which the greatest reduction in the aqueous content of the matrix occurs (Lobo; 2017; Monteiro et al. 2018; Júnior, 2021).

In the 3rd and last phase of the drying mechanism (t_2), the behavior of the curve becomes decreasing, where the balance reached between the evaporation of water and the water that migrates from the center of the material to the surface, is stopped (Monteiro et al. 2018; Cardoso and Lobo, 2021). During drying, the temperature of the product is high, causing it to reach ambient air temperature, where the food enters a state of thermodynamic equilibrium as a whole (Curcio et al. 2008). This condition persists until the product finds an equilibrium point for the operating conditions, to terminate the process.

2.3 Mathematical models adjustable to drying curves

The complexity surrounding the drying phenomenon leads to the emergence of numerous theories and mathematical formulas, which empirically predict the drying rate over a given exposure period. The adoption of mathematical models is a practice that provides greater control over the variables involved in plotting the drying curves and its application allows describing the various mechanisms involved in the application of the technique, optimizing process parameters, predicting drying data, controlling processes and analyzing the dynamics of mass and heat transfer and effective moisture diffusivity (Kumar et al. 2022)

From the use of experimental data collected during the operation and statistical techniques, it becomes possible to delimit and also propose the use of one or more equations, which empirically estimate, however, with a certain degree of precision, the value of the water content of a food, associated with a certain drying period (Alves, 2014; Lobo, 2017).

Delimited theoretically, some equations start from hypotheses that allow the simplification of the mathematical treatment, while other equations were obtained indirectly by applying the framework of theoretical models with correlation coefficients obtained by experiments carried out (Goneli et al. 2007, 2009; Santana and Silva et al., 2021).

There are several mathematical models used to describe the drying processes, directly helping the optimization of projects (Santana and Silva et al. 2021). The models or equations are classified into three categories: theoretical, semi-empirical and empirical models, each with its own particularities (Vieira, 2014).

The theoretical models consider the different transport mechanisms of the moisture content of the matrix, where they are based on the solution of the mass and heat transfer equations in the material. The semi-empirical models consider the mass transfer mechanism, highlighting the mechanism as an isothermal process, where the system temperature remains constant. Finally, empirical models are the most widely used to obtain data on drying kinetics, where equations adjusted by applying experimental data, describe in a simple way the moisture content of the material according to the conditions that govern the mechanism. drying process (Vieira, 2014). Table 1 presents in a unified way the most used models in food drying today.

Model Name	Equation
Page	$RU = \exp(-kt^n)$
Modified Page I	$RU = a.\exp(-kt^n)$
Modified Page II	$RU = \exp(-c(t/L^2)^n)$
Newton	$RU = \exp(-kt)$
Henderson and Pabis	$RU = a.\exp(-kt)$
two terms	$RU = a.\exp(-kt) + b.\exp(-nt)$
Midilli, Kucuk and Yapar	$RU = a.\exp(-kt^n) + bt$
Diffusion approximation	$RU = a\exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
Wang and Singh	$RU = 1 + (at) + (bt^2)$
logarithmic	$RU = a.\exp(-kt) + c$
Get simplified	$RU = a.\exp(-c(t/ L^2))$

t: drying time (min); k: drying coefficient; a, n and b: parameters belonging to each model; RU: moisture ratio. Source: Adapted from Vieira (2014), Franco (2015), Negreiros (2019), Santana and Silva et al. (2021) and Carvalho et al. (2022).

Table 1 - Main mathematical models used to determine food drying conditions, reported in the literature

2.4 Factors that influence drying

To ensure all the benefits of dry products, it is essential to know the various factors that influence the mechanism of food drying, as well as the events involved in plotting the curves and using adjustable mathematical models, which are closely related to process conditions, such as: the type of machinery used, the temperature, the environmental conditions, the relative humidity of the exposure air (RH%) and the speed of the circulating air, as well as the operating conditions, which work respecting the peculiarities of the different procedural methodologies (Canepelle et al. 2020).

In addition, another important factor to be aware of is the nature of the food matrix that will be subjected to drying, which is a factor that enhances or hinders the process of water flow and diffusion (Heldman and Hartel, 2000).

Regarding the process temperature, it should be noted that the greater its contribution, the faster the process of evaporation of the aqueous content of the food matrix tends to occur, directly influencing the mechanism of translocation/migration of the aqueous compound in the food, emphasizing that the warmer the circulating air, the greater the migration of molecules from the interior of the product to the surface in the form of steam (Canepelle et al. 2020). However, it is reiterated that the faster the drying is carried out, at a lower temperature, the smaller the degradation and damage to the structure of functional compounds will tend to be (Susanti et al. 2021).

The air velocity positively influences the increase in the mass transfer rate, in the initial phase of the drying process (Boeri, 2012). Heldman and Hartel (2000) emphasize that the air velocity influences the process only in the constant rate phase (t_0 - Phase I), mainly because it is characterized as an external factor, not having a direct correlation with the matrix, not causing interference in the internal migration rate of water content.

The relative humidity of the air (RH%) is one of the most relevant factors in the entire process context in the drying mechanism, as this parameter determines the final equilibrium humidity of the product to be dried. The RH% is largely responsible for the transfer of masses on the surface of the product, also highlighting that the greater the difference in partial vapor pressure between the atmosphere and the surface, the greater the drying rate of the raw material (Júnior, 2021).

Another limiting factor of the drying process is the nature of the product to be dried itself, covering characteristics such as: surface area of exposure, the cellular arrangement of the matter and the physical-chemical composition (type and concentration of the constituents of the product) (Guimarães, 2010).

Specifically, the surface area of the product subjected to drying is an extremely relevant factor for the process as a whole, as it determines the mass transfer rate during drying. Technically, the greater this exposure area, the greater this transfer rate will tend to be and consequently the smaller the path of liquids from the interior of the product to the surface, tending to accelerate the drying process. When dealing with drying on a foam mat, due to the methodological context, there is an arrangement that favors the occurrence of a larger drying surface, due to the incorporation of air inside the material, which tends to reduce the drying time and guarantee process optimization (Yüksel, 2021).

The cellular arrangement of a food matrix is also characterized as a critical factor in the process of removing the water content of a food, since a portion of the water content of the food is contained in the internal space of the cells, being necessary, the migration of this content through the membrane system (Guimarães, 2010). Likewise, the physical-chemical composition of the product is a relevant factor, affecting the movement of liquids from the interior to the periphery of the matrix (Lobo et al. 2017).

In this sense, knowledge of the food matrix, as well as the correct choice of the methodological procedure to be used, influences the process as a whole, requiring comparisons of the advantages and disadvantages of each method, taking into account both the technical and economic, such as nutritional, being a mechanism of extreme complexity. To select a particular drying process, some points must be considered, due to the numerous factors mentioned above, respecting the type of raw material and its susceptibility to heating, in addition to the processing cost

3. Foam-mat Drying

Broadly, an important reduction in the sensory quality and nutritional value of foods subjected to drying is recognized, being caused by the exposure of the product to high temperatures for long periods (Santana and Silva et al. 2021). Drying technology, in general, has become increasingly sophisticated over the years, including the adoption of technological pre-treatments, in addition to the adoption of new procedural techniques and equipment, with a focus on the final quality of the products. In this perspective, a process that has been widely used in food drying is foam layer drying or the so-called foam mat drying in which it uses the beating of liquid and semi-liquid foods to produce a stable foam by incorporating air into the material (Yüksel, 2021).

The foam bed drying technique or “foam mat drying” is a relatively old procedure, although it has gained special attention more recently, mainly due to its inherent advantages when compared to other more traditional drying techniques (Lobo et al. 2020). It is characterized as a simple-to-use process, which involves drying foods sensitive to high temperatures, with a high sugar content and viscous foods, with the promise of retaining and/or increasing their nutritional quality as well as volatile and sensitive substances, when applicable, since it uses lower temperatures and a shorter final drying time (Sangamithra et al. 2015; Lobo et al. 2017; Qadri et al. 2019).

For the process to be efficient, the foams formed need to adopt specific characteristics, remaining mechanically and thermodynamically stable during the period of exposure of the sample to the thermal environment (Susanti et al. 2021).

Foaming agents are used in this process to provide the ability of the matrices to convert into stable foams, meeting the primary requirements of the method. Food processing through the foam layer, consists of a process in which pasty foods, such as fruit pulp, purees or liquids such as fruit juice are beaten and incorporated together with certain additives that will optimize the microstructure of the material, enhancing and facilitating the acceleration of water removal during drying, allowing faster drying at a lower temperature (Raja et al. 2019; Susanti et al. 2021; Sifat et al. 2021).

Usually, these foaming additives are agents with polymeric characteristics and high molecular weight, appearing in a water-soluble form in the solution (Sangamithra et al. 2015). Admittedly, foam is the dispersion of a fluid with a “hydrophobic” characteristic (affinity for lipid compounds) in a liquid with a “hydrophilic” characteristic (a direct affinity for aqueous compounds). It is similar to an emulsion, having in its structure droplets with gaseous characteristics, covered by a continuous liquid, characterizing itself as a thermodynamically unstable system.

Emulsifiers or emulsifiers are molecules capable of uniformly forming or maintaining a mixture of two or more immiscible phases in a food matrix, according to the concept described in Brazilian legislation, Ordinance SVS/MS N°. 540 of 1997 of the National Health Surveillance Agency - ANVISA (Brazil, 1997). These substances have the function of increasing the stability of emulsions, being normally characterized as amphiphilic molecules, that is, they have in the same molecule a polar portion (hydrophilic, being soluble in water) and a nonpolar portion (hydrophobic/lipophilic, being insoluble in water). water and soluble in organic compounds) (Hardy and Jideani, 2015).

The emulsification of liquids and semi-liquids in the process of obtaining foams, plays an important role in the development of consistency and texture of the material, as well as acts in the dispersion of phases and in the solubilization of aromatic compounds in the matrix. The property of formation and stabilization of emulsions is the main characteristic to be influenced by the addition of emulsifiers in foods, controlling the agglomeration of fat globules and stabilizing aerated systems as in the case of foams (Gharbi and Labbafi, 2019).

In the foam mat drying process, the addition of this type of agent is required, in order to reduce the surface tension between the liquid and the gaseous phase of the foams. For this purpose, proteins, gums, monoglycerides and others can be used (Benkovic et al. 2019; Susanti et al. 2021; Kumar, Kandasamy and Chakraborty, 2022; Beegum et al. 2022). However, the type of additive to be inserted in the mixture can modify some sensory characteristics of the product. Taking this into account, it is of great importance to know the ideal concentrations of additive to be used in different matrices, since the foam obtained must be able to tolerate different events related to mechanical operations, such as pumping, spreading, in addition to drying itself (Lobo et al., 2020).

When analyzing the schematic model presented in Figure 2, where the formation of the foamed system can be observed, it is noted that it tends to present an extensive thin surface in phase two (2) of the obtaining process, in which it provides sufficient support for remain stable, without the occurrence of shearing, rupture of the liquid film and coalescence of matter. When exposed to a current of hot air, the drying of the product is optimized (phase three), occurring more easily due to the movement of moisture through the liquid film that separates the foam bubbles (lamellae), due to the capillary forces exerted by the liquid (Gharbi and Labbafi, 2019).



Figure 2 - Schematic model of foam layer drying.

Source: Authors, 2022.

Foam formation is mainly done by the use of mechanical forces. Agitation by means of electronic devices produces a vigorous performance agitation in the liquid,

which acts on the incorporation of air in the system, integrating a sufficient proportion of gas in the structure, increasing the surface area delimited by the expansion of the material, for an effective drying later. and the foaming agent helps stabilize the foam by keeping it stable during the process, optimizing the heat and mass transfer rate when dehydrated (Qadri, Srivastava and Yousuf, 2019).

3.1 Foam structure and stability

The production of most foams requires the implementation of an energy source (either mechanical by using electronic devices or manual), through high pressure homogenization or beating, for the formation of a gas-liquid interface, essential during the cycle sample heating. When relaxed, the foams tend to release the implemented energy, becoming unstable, due to a disaggregation effect of the phases, producing a negative effect on the foams, leading them to “overbeating” (Susanti et al. 2021; Sifat et al. 2021).

The lack of stability of the foam during the heating cycle of the food matrix is a difficulty encountered in the drying process using the foam mat technique, because if the foam does not remain stable enough, with a powerful capacity to accumulate air trapped in the system, serious damage to the operation as a whole may occur. Therefore, it is necessary to use foaming or stabilizing agents in order to have an optimization in the maintenance of stability by reducing its surface tension, with sufficient support for the elasticity-flexibility of the foamy system, avoiding the coalescence and rupture of air bubbles (Pernell et al. 2002; Qadri, Srivastava and Yousuf, 2019; Dabestani and Yeganehzad, 2019).

The reduction of the surface tension between the liquids or solids/liquids prevents the foam from collapsing and facilitates its formation, preventing the thinning of the lamellae and the rupture of air bubbles. From a methodological point of view, foam stability is one of the most essential points in the drying process, and this parameter is a critical factor in the maintenance and success of the operation (Qadri, Srivastava and Yousuf, 2019; Gharbi and Labbafi, 2019).

Foam is characterized as a colloidal system, in which the gas is dispersed in a continuous liquid, semi-liquid or solid phase. The stability of the foam system can be determined by measuring the drainage rate of the liquid content of the foam or through

the volume reduction rate found in the macroscopic structure (Dabestani and Yeganehzad, 2019).

Even the volume of gases present in the foam mass tends to reduce heat transfer, the drying rate is relatively high, bringing the advantage to the process, obtaining a powder with a pulverized characteristic, of better quality and of easy reconstitution (Elpídio et al. 2020).

3.2 General quality attributes of dry materials per foam layer

Normally, fruit pulps and juices can be stored for short periods, which vary from days to months when frozen and under controlled conditions, while powdered products produced from these matrices can be preserved for months or years, depending on packaging and storage conditions (Shishir et al. 2018).

Whatever the method employed in the process of dehydration of a food matrix, its final result, in some way, will reduce the water activity and will prolong the useful life of the product, in addition to facilitating storage and transportation, due to the decrease in mass and size, making the drying operation an alternative for market diversification, encouraging the reduction of post-harvest losses and obtaining products with a longer shelf life, due to their microbiological stability (Raupp et al. 2009; Lobo et al. 2017).

In this scenario, a range of by-products in powder form has been developed, and it is possible to find in addition to the traditional ones, for example, coffee, milk, chocolate, spices, many fruits and vegetables, which increase the availability of the food in the market. and offer an alternative form of consumption for food, providing opportunities for the supply of nutrients and specific compounds present in each type of food matrix (Shishir et al. 2018).

Among the multiple applications of powdered foods, it can be highlighted the dilution of the product in a liquid for consumption in the form of a drink, the addition in mixtures and food and/or culinary preparations, the consumption in the form of supplementation of nutrients and bioactive compounds in food, among others (Elpídio et al. 2020). In this scenario, analyzes for the characterization of powdered products, regarding their physical-chemical and bioactive properties, are extremely important, both to validate the impact of the drying process on that food matrix, and to verify the general quality of this food.

These powdered fruit pulps are mainly characterized by the high presence of sugars in the amorphous state in their composition (sucrose, fructose, glucose) and these, due to their chemical structure, with polar terminals, are responsible for strong interactions with the water molecule present in the environment, making them highly hygroscopic (Oliveira, Costa and Afonso, 2014).

This phenomenon of water absorption, to which powdered pulps are susceptible, leads to a condition of risk of physical deterioration, which is called “Caking”. Popularly, caking is known as agglutination or stoning and is characterized as a process by which the powder, of low humidity, with a high potential for cohesion and fluidity, is agglomerated and forms a pasty material, with loss of functionality and quality (Azeredo and Brito, 2012).

The occurrence of this phenomenon mainly depends on the temperature and relative humidity of the environment in which this material is stored, and involves some specific phases, including the formation of bonding bridges between particles, the agglomeration of intrinsic substances of the composition, the material compaction and liquefaction (Azeredo and Brito, 2012).

The formation of bridges is the beginning of the caking process, and occurs as a result of deformation of the surface of the particles and adhesion at points of contact between them, but does not lead to a measurable reduction in the porosity of the system. Agglomeration, on the other hand, involves a process of consolidation of the previous phase, the disintegration of the formed bridges being irreversible, migrating to the formation of clods, but still maintaining the porosity of the particles.

The compaction phase is closely associated with the loss of integrity of the system as a whole, where there is a thickening of the bridges formed in the initial phase, causing a reduction in the porosity of the powder and deformation of the particles. In the final phase, the bridges established between the particles are disintegrated, as a result of the liquefaction process of the structure, which generally involves the solubilization of fractions of low molecular weight and hygroscopic behavior (Azeredo and Brito, 2012; Izadi et al. 2020).

In general, it can be seen that the occurrence of deteriorating events in the powdered pulps, such as moisture gain, agglutination, increased hydroscopicity, increase

or reduction of the hydrogen potential (pH), can cause damage to the quality of the powder, such as agglomeration and, consequently, a decrease in solubility.

Bastos et al. (2005) performed the dehydration of mango variety Tommy Atkins by foam bed process, using a thermal cycle of 70 and 85 °C, in which they tested the efficiency of the emulsifiers carboxymethyl cellulose (CMC), Tween 60® (oil in water), xanthan and egg white. In preliminary tests, the authors observed that Tween 60® provided greater stability to the mango pulp foam. Subsequently, chemical and physical analyzes were carried out on the fresh and dehydrated pulp, obtaining greater acceptability for products that were prepared by adding the pulp that went through the drying process at 70 °C in the sensory analysis.

Silva et al. (2008) analyzed the drying kinetics of tamarind pulp by foam mat drying, in which they found that the drying time of the samples ranged from 180 to 270 minutes, until the product reached a final moisture content of 7 to 10%, considered as U_{eq} . This finding allows us to point out that the technique is efficient from the perspective of process time, directly reducing the exposure of the matrix to temperature

Lobo et al. (2020), evaluated the effects of temperature and concentrations of soy lecithin and CMC on carotenoid composition and colorimetric parameters of Tommy atkins mango samples submitted to foam mat drying. After drying, 10 different carotenoids were identified and characterized, the same found in the sample of in natura mango (control) and through the application of a statistical design, it was indicated that there was no inherent effect of the process on the carotenoid content in the dried mango, an effect that was compared with other studies in which the food matrix was subjected to thermal processing, such as pasteurization, and at the end of the process, showed a significant loss of carotenoid content.

4. Effects of foam mat drying applied to fruit matrices

It is worth noting that each type of drying can exert a different influence on the quality and physical-chemical properties of the product to be dried. Table 2 presents some studies carried out with fruit-bearing raw materials, which used the foam layer drying technique to obtain the powder, highlighting the main parameters analyzed and promising results.

Table 2 - Summary of the main evidences that point to the effects of foam mat drying under fruit matrices

Reference	Feedstock Fruit (<i>species</i>); additive	Drying conditions	Drying effects on the matrix
Kandasamy <i>et al.</i> (2012)	Papaya (<i>Carica papaya L.</i>); egg albumin	The drying had a temperature variation in the range of 60, 65 and 70°C. As a foaming agent, egg albumin was used (not specifying the origin), at concentrations of 5, 10, 15 and 20% (w/w). The mechanical agitation time required to obtain the foam was respectively 5, 10, 15 and 20 minutes in each formulation, with a foam layer thickness of 2, 4, 6 and 8 mm.	The authors point out that there was a significant reduction ($p \leq 0.05$) in the general content of ascorbic acid, β -carotene and sugars in the dry product obtained from papaya at higher drying temperatures (65 and 70°C, for example) and greater thickness of the foam layer subjected to drying (4, 6 and 8 mm) due to its destruction during the process. It is noteworthy that there was no significant change in other matrix constituents, such as SST, pH and titratable acidity. It is also pointed out that the condition of 60°C was the most adequate in terms of proportional preservation and maintenance of the natural composition of the product at the end of drying, using 15% albumin, with a stirring time of 15 min, and an average thickness of 2 mm, potentially acting in the greater retention of ascorbic acid, β -carotene and sugars.
Kandasamy <i>et al.</i> (2014)	Papaya (<i>Carica papaya L.</i>); methylcellulose; glycerol monostearate and raw egg white.	Foam formation included the incorporation of methylcellulose at 0.25; 0.5; 0.75 and 1% (w/w), glycerol monostearate at 1, 2, 3 and 4% (w/w) and fresh egg whites at 5, 10, 15 and 20% (w/w). The foamed pulp was dried at air temperatures of 60, 65 and 70°C with foam thickness of 2, 4, 6, 8 and 10 mm in a cabinet-batch dryer.	In the process of obtaining the foam, the best condition evaluated in the maximum stability was 72, 90 and 125% for 0.75% of methylcellulose, 3% of glycerol monostearate and 15% of egg white, respectively. The authors point out that during the drying process, a control sample (not foamed) was also subjected to temperature, where it was found that the foamed pulp was dried in a shorter time than the control pulp, at all temperatures tested, the which promotes the idea that it is a method that exposes the food matrix less to temperature, having a more optimized and efficient drying process. As for the physical-chemical patterns, the authors highlight a significant loss ($p \leq 0.05$) of ascorbic acid, with no other significant changes in the other parameters analyzed (pH and titratable acidity, for example).
Leal; Gerald e Klassen (2016)	Pearl pineapple, acerola and star fruit; Emustab ® Seleta (composed of fatty acid monoglycerides, sorbitan monostearate, polyoxyethylene sorbitan monostearate and potassium sorbate).	4% of the selected foaming agent was added to the fruit pulps, being mechanically shaken for approximately 10 min in a planetary mixer. The temperatures used were: 50, 60 and 70°C with a foam mass thickness plotted at 5 mm.	The authors observed that as there was an increase in the process temperature, the lower the degradation of ascorbic acid, which had a possible relationship with the lower exposure of the pulp to the drying air. Therefore, the authors found that when drying such matrices, it would be suitable to use it for adequate retention and increase of the concentration of vitamin C in the powdered pulps under the conditions of the formulations, at a temperature of 70°C. At this temperature, the highest levels of vitamin C were identified in pineapple, acerola and star fruit, respectively, 108,86; 1369,02 and 37,68 mg/100 g of product.

<p>Marques <i>et al.</i> (2016)</p>	<p>Sugar cane (<i>Saccharum officinarum</i>); Emustab®; Super Alloy Neutral ® and calcium carbonate.</p>	<p>Sugarcane was used in the form of sugarcane juice (garapa), which was incorporated with additives with emulsifying properties (Emustab®), stabilizers (Super Liga Neutra®) and an anti-caking agent (calcium carbonate) in the proportion of 2.1 %, 0.70% and 0.35% of the total mass of 200 g, respectively. The thickness of the foam layer taken for drying was not controlled, however, the authors emphasize that it was a thin layer. 4 drying repetitions were carried out at temperatures of 50, 60 and 70 °C with drying air speed of 0.5 m/s, where the use of low temperatures that could make the process time-consuming or high temperatures that could cause product burning.</p>	<p>The shortest drying time of the product occurred at 70°C (180 min), having at the end of the process an average moisture content of 3.23% with water activity around 0.360. These values suggest that the water activity reduced an average of 63.62% and the humidity in a wet basis reduced an average of 96.03%, characteristics that gave the dehydrated product a high stability potential against deteriorating events.</p>
<p>Carvalho <i>et al.</i> (2017)</p>	<p>Jambolan (<i>Syzygium cumini</i> L.); Emustab®</p>	<p>The formulations were prepared using the following proportions: 10.0% (w/w) of Emustab®, 2.5% (w/w) of Super Liga Neutra®, 20.0% (w/w) of maltodextrin "10 DE" and 67.5% (w/w) of jambolan juice. The foams were placed on stainless steel trays using a radius of 150 mm x 5 mm in height and dried in a hot air dryer at 60, 70 and 80 °C until equilibrium humidity was reached and immediately packaged. anaerobically and in the dark.</p>	<p>The authors aimed to evaluate the quantitative and qualitative changes of the main fruit phenolic compounds, such as anthocyanins, flavonols and hydrolyzable tannins in the fruit juice produced and in the corresponding dehydrated powders obtained by drying on a foam mat at the aforementioned temperatures (60, 70 and 80 °C) in addition to lyophilization (control). It was identified that fruit pulp processing resulted in a more pronounced degradation of anthocyanins than flavonols, and facilitated the extraction of hydrolysable tannins from that food matrix. The elevation of the dehydration temperature during the foam mat drying process negatively impacted the anthocyanin content in the product, having on the other hand, the flavonols and hydrolysable tannins as elements more sensitive to oxidation and heating time during dehydration, respectively, than the dehydration temperature. In general, the authors concluded that the processing of jambolan pulp at 70 °C is the most appropriate when using the foam mat technique, in view of the lower loss of nutritional quality of the product related to processing time.</p>

Rigueto <i>et al.</i> (2018)	Uvaia <i>(Eugenia pyriformis)</i> ; Emustab®	<p>Our preliminary tests, to prepare and obtain the foam, were tested at concentrations of 4.0; 4.5 and 5% (m/m) of emulsifier, under maximum agitation for 8 min. A concentration of 4.5% was selected for the study to present the best results. Then, in a selected condition (4.5% w/w) a foam was produced, where 10 g were spread on petri plates and placed in a stove, at temperatures of 50, 60, 70 and 80 °C.</p>	<p>In plotting the drying curves, it was observed that the uvaia foams dried at 50 °C had a time required to reduce the water content of approximately 435 min, and on the other hand, for the temperature of 80 °C the time required was of 150 min. In this context, it is noteworthy that the increase in temperature favored a reduction in the drying time, resulting in steeper curves due to the greater amount of heat transferred from the air to the material. When analyzing the physical-chemical profile of the product, the fruit of uvaia in natura showed an acidic character, with an increase in acidity and ash levels after drying in a foam layer. In addition, the uvaia pulps dried at 50°C showed greater retention of vitamin C due to the lower exposure temperature of the foams, even for a longer time.</p>
Vimercati <i>et al.</i> (2019)	Strawberry <i>(Fragaria sp.)</i> ; Albumin	<p>In a mixer, together with 1% of the foaming agent albumin, a proportion determined based on preliminary studies, the foam was obtained, in a variation of 5 min of slow beating and 15 minutes of maximum beating (speed not specified). The foam was placed in stainless steel trays and exposed to temperatures of 55, 60, 65, 70 and 75°C, being checked every 15 min in the first hour, 30 min in the second and third hour and every hour, until constant weight.</p>	<p>The content of total anthocyanins and moisture content of the powders were determined and the authors found that the Page model should be selected to represent the drying kinetics of strawberry pulp, since it presented the highest value of the adjusted coefficient of determination and the lowest standard error of the regression. The generalized model obtained was satisfactory to predict the moisture ratio of strawberry pulp, presenting R² of 0.98. It is noteworthy that the drying time was longer at 55°C (4h) and relatively shorter at the highest temperature of 75°C (1.5h), which is an expected pattern in drying. The total anthocyanin content of the fresh pulp was 235.03 mg / 100g, reducing approximately 50% of the initial content for all temperatures evaluated. It is noteworthy that the temperature of 65 °C did not differ statistically from the temperatures of 55 °C and 75 °C and the authors point out that a probable explanation for this fact is the protective effect that albumin can exert on anthocyanins. At these temperatures, there was a lower degradation of anthocyanins in relation to the initial value (± 48%), while the temperature of 70°C caused a greater degradation of the total anthocyanins content (± 57.9%).</p>
Sousa <i>et al.</i> (2019)	Red guava <i>(Psidium guajavai)</i> ; Soy Lecithin (LS); Carboxymethylcellulose (CMC)	<p>The guava pulp was submitted to three experimental conditions where they had different proportions of the selected agents. Treatment 1: 0.3g CMC/100g pulp; Treatment 2: 0.3 g of LS/ 100g pulp and Treatment 3: 0.15 g of CMC + 0.15 g of LS/ 100g of pulp. After obtaining the foams, under different conditions, it was spread manually on trays, being exposed</p>	<p>After drying, it was identified that in the colorimetric analysis the L* index was lower in the guava samples submitted to the three drying conditions in relation to the in natura pulp (control), which suggests a darkening tendency of the dehydrated pulp. In the axis facing the red colorimetric pattern (a* index) the authors identified better results in the dehydrated samples when compared to the in natura sample. For the b* index, which represents the yellow color (positive values), it was the color parameter least affected by the different drying conditions, but visually there was a slight tendency to yellow color in the dehydrated samples compared to the control sample. Statistical analysis indicated a significant difference (p < 0.05) for vitamin C content, total</p>

	<p>to a temperature of 80°C until reaching a water activity of around 0.3.</p>	<p>phenols and antioxidant capacity due to the influence of CMC and LS concentration. However, there was a significant increase in antioxidant capacity and total phenols in dehydrated guava pulp under all conditions evaluated compared to fresh pulp. The drying condition with the concentration of 0.15g/100g of CMC and 0.15g of LS/100g (treatment 3) presented a shorter drying time and, concomitantly, higher values for total phenols, antioxidant capacity and better retention of vitamin C in comparison with the other drying conditions evaluated.</p>
<p>Lobo <i>et al.</i> (2020)</p> <p>Tommy Mango (<i>Mangifera indica</i>); Soy Lecithin (LS); Carboxymethylcellulose (CMC)</p>	<p>In preliminary tests, 17 drying conditions were tested, using different concentrations of CMC and LS, in which, after application of the central rotational composite design (DCCR), the condition that presented the best results was selected to proceed in the study. The exposure temperature of the samples ranged from 53 to 87°C. The pulp was dehydrated in a variable time interval from 120 to 380 min, this time being determined by the final value of the water activity of the dry product (0.35 to 0.45).</p>	<p>The authors emphasize that under drying conditions, the process time is inversely proportional to the exposure temperature value and that, based on the results obtained in the experimental design of the process, the condition that presented the best performance was at 5°, which used a concentration of 0.30g/100 of CMC and LS at an exposure temperature of 80°C. In the physical-chemical characterization of fresh fruit pulp, different isotopes of carotenoids were detected, such as 9-cis-, 13-cis-, 15-cis- and all, -trans-violaxanthin, luteoxanthin and its β-carotene derivatives. and cis-β-carotene. After drying, the results of the mapping and characterization of these compounds showed that the drying process in this condition did not present a significant difference (p > 0.05) on the content of total carotenoids and the content of β-carotene, indicating that this method may be interesting, when applied on this matrix, aiming at the supply of carotenoid compounds. In the analysis and interpretation of the colorimetric parameters of the sample (a*, b* and L*), only the parameter L* of the dried mango pulp was significantly affected by different concentrations of foaming agent in the tested formulations. However, in general, the total carotenoids of the mango dried by the foam layer method were higher in relation to the control mango (lyophilized) used as a parameter in this study, indicating that the previously mentioned condition (5°: 0.30g/ 100 – CMC + LS) is ideal for the physicochemical parameters of the sample to be potentiated, being able to increase the retention of total carotenoid compounds in relation to other methods.</p>
<p>Geraldi <i>et al.</i> (2020)</p> <p>Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>); Emustab®</p>	<p>To obtain the foams, the foaming agent Emustab® was used in the proportion of 5% (m/m) of the formulation, kept under agitation for about 8 min at maximum speed (non-specific). The formulations went on to the drying process, where the ranges of 60 and 70°C were exposed.</p>	<p>After the cherry pulp drying process, the sample submitted to a temperature of 60° presented, at the end of the process, the highest content of anthocyanins (6.24 mg/100g) when compared to the sample submitted to the highest temperature (70° Ç). On the other hand, the highest content of phenolic compounds was recognized in the sample submitted to 70°C with a total of approximately 684.9 mgAG/100g, associated with a lower moisture content of the sample at the end of the process (13.46%).</p>

Tavares <i>et al.</i> (2020)	<p>Jambolan (<i>Syzygium cumini L.</i>); Emustab®; Super Alloy Neutral® and Maltodextrin 10 DE®</p>	<p>In the liquid pulp of the fruit, the emustab® additives were incorporated. Super League Neutral ® and Maltodextrin 10 DE® in the proportion of 67.5:10.0:2.5:20.0 (p/p), respectively, obtaining a foam with a stable characteristic that was then poured into round stainless-steel trays with a radius of 150 mm x 5 mm in thickness, which were then dried in a dryer with air circulation at 80°C. After drying, the dried product was stored under controlled conditions for 150 days at temperatures of 4, 25 and 35°C.</p>	<p>The authors identified that in the powders, there was no significant change in flavonol concentrations during storage carried out under the conditions outlined in the study (150 days at 4, 25 and 35° temperatures), however, a small, however noticeable reduction in concentration of total anthocyanins, around 7-9%, highlighting that this perceived change occurred only as a function of storage time and not of the exposure temperature of the formulations in the drying process. Even with proportional losses in the concentration of anthocyanins and flavonols in the three storage conditions tested, during the 150 days of storage, the product presented a color considered attractive, at the sensory interface, with a red-purple spectrum, promoting the idea that this ingredient has an excellent potential for insertion in the food formulation. Furthermore, at all storage temperatures, the percentages of antioxidant activity fluctuated during the storage time, however, none showed great losses after 150 days.</p>
Rodrigues; Geraldi e Loss (2020)	<p>Guavira (<i>Campomanesia Adamantium</i>); Emustab®;</p>	<p>The fruits were pulped and incorporated with the selected emulsifiers at a concentration of 4% in relation to the pulp mass. Then, the mixture was stirred in a domestic mixer for 8 minutes at maximum speed, obtaining a foam with a stable characteristic. The samples were dried at 50, 60 and 70°C.</p>	<p>In accordance with Brazilian legislation (RDC n°. 263/Anvisa), which establishes quality standards for dry products obtained from fruit matrices, the moisture content of dehydrated pulps at temperatures of 50, 60 and 70 °C were respectively 9.4; 7.2 and 4.0%, in accordance with the standard established for dry products obtained from fruits and vegetables. In the physicochemical analyses, no variations were identified between the drying conditions, showing a significant increase in the content of ash, vitamin C and titratable acidity in the dry samples, in relation to the values of the pulp in natura, configuring the temperature of 70 °C as the best to perform the procedure, since the drying time is shorter and the increase in temperature did not compromise the physicochemical characteristics of the pulp.</p>
Cavalcante <i>et al.</i> (2020)	<p>Cagaita (<i>Eugenicys dysenterica DC</i>); Emustab®; Neutral-Super-Binder® and Albumin.</p>	<p>The selected foaming agents were incorporated in 300 mL of cagaita pulp, in 5 proportions: 2, 4, 6, 8 and 10% (w/v) aiming to define the best formulation to proceed with the studies. Albumin at 8% (w/v) was selected, showing better drying tendency. The samples were submitted to drying at different temperatures: 40, 50, 60 and 70°C until the products reached equilibrium humidity.</p>	<p>The cagaita pulp, added with albumin, had an initial moisture content of 84.05±1.15%. After drying at 40, 50, 60 and 70 °C, the products reached, respectively, moisture content of 14.04±0.74%, 12.79±0.58%, 9.47±0.80 and 7.75±0.38%, being the temperature of 40°C the one that presented the worst performance when related the final moisture content with that described in the legislation (RDC n°263/Anvisa). The physicochemical characteristics of the powder, as well as its vitamin A and C content, total carotenoid content and antioxidant activity were evaluated. Vitamin C levels and antioxidant activity decreased with increasing temperature, with the highest antioxidant activity maintained at 60°C (60.44%) and the highest vitamin C content was recognized at 50°C (166, 14mg/100g). The highest concentrations of carotenoids and vitamin A were found in the powder prepared by drying at 70°, with values of 19.77µg g-1 and 164.80 µg RAE 100g-1, respectively.</p>

<p>Samyor; Deka e Das (2020)</p>	<p>Purple passion fruit (<i>Passiflora edulis</i>); methylcellulose</p>	<p>3% methylcellulose was added to the purple passion fruit pulp, which was subjected to mechanical agitation for 5 minutes in a modified blender, with continuous incorporation of air into the mixture. Subsequently, the foamed pulp was spread on a stainless-steel tray, respecting the thickness of 3 mm and taken to a variable temperature of 40 – 60 °C, being monitored every 30 min of exposure until constant humidity.</p>	<p>In the experimental design of the study, the central composite design (CCD) followed by the response surface methodology (RSM) was used to develop the relationship between the variables and optimize the experimental conditions for the drying process. The independent variables were beating time (1–5 min), methylcellulose concentration (1–3%) and drying temperature (40–60 °C). In this movement, to adjust the best conditions, it was identified that in the ideal process steps, the mixing time, the concentration of methylcellulose and the drying temperature were 2.58 min, 2.58% and 44.05°C respectively. In the physicochemical analyses, it was found that the passion fruit powder, obtained by foam mat drying, contained a higher amount of β-carotene (13,26 mg/100 g), total phenolic compound (258.12 mg/100 g) and phenolic compounds than fresh fruit pulp, while the fruit pulp contained higher amounts of (±) -α-tocopherol (171,1 mg/100 g) and D-α-tocotrienol (27.19 mg/100 g). In passion fruit pulp, coumaric, syringic and sinapic acids predominated, while in powder foam, chromogenic acid, transferulic acid and vanillic acid were higher.</p>
<p>Rigueto <i>et al.</i> (2020)</p>	<p>Red jambo (<i>Syzygium malaccense</i>); Emustab®</p>	<p>In order to determine the best condition for foam formation, a preliminary test was carried out, in the fruit pulp was added 4.0; 4.5 and 5% (w/w) of emulsifier, being stirred for 8 min at maximum speed. With the best performance, the proportion of 4.5% was selected. The foam was dried in a forced air circulation oven at temperatures of 50, 60 and 70°C.</p>	<p>At the end of drying, the fruit powders showed acidic pH (±3.5), the vitamin C content decreased with increasing temperature (108.16; 88.58 and 62.16 mg/100g at 50, 60 and 70°C, respectively) and the ash content significantly increased in the dry powder samples due to the addition of foaming agents.</p>

The performance of physical-chemical analyzes on the products obtained by drying, as well as in their in natura form, is carried out in order to identify the influence that the drying process inferred on the evaluated parameters, making it possible to plot comparative characteristics with the raw material without undergoing any changes caused by heat (in natura or minimally processed) and methodological conditions. From these results and obtaining information on product quality, nutritional value, yield, solubility, dispersion quality, shelf life and possibility of application, value is added to the product, contributing to minimize losses and waste in the production chain (Augusta et al. 2010; Nunes et al. 2017; Lobo, 2017).

In all the studies mentioned above (Table 1), the evaluation of some parameters were essential for the delimitation of the study, such as moisture content, concentration of micronutrients, pH, titratable acidity, ash, in addition to colorimetric parameters, involved with the presence of bioactive compounds with coloring potential, since the drying process can significantly change the chemical composition of foods in general, and may have as a variable the sample preparation system (pre-treatment), drying conditions or storage, in addition to the chosen method.

When it comes to drying, one of the main parameters involved is humidity, where its monitoring is the key point of kinetic experiments, where the water content of the product is an active element in limiting the growth of different types of microorganisms able to multiply in the food matrix. Directly, the result obtained from the evaluation of the moisture content of the sample helps to predict whether the drying method is effective due to the reduction of its content (Geraldi et al., 2020).

Likewise, according to Nunes et al. (2017), the pH and acidity of the product act as important parameters in the segmentation of appreciation and conservation of the product, also acting as a limiting element in the process of development of spoilage microorganisms.

The hydrogenic potential or “pH” is an indicator of the concentration of H⁺ ions (hydrogen) in a medium. This chemical compound is essential for the delimitation of the acid characteristic of a product, acting in a complementary way in the process of inhibition of enzymatic and microbial activity. This parameter can be easily changed, being extremely dependent on factors such as conservation status and harvest of raw materials (Silveira and Silva, 2020).

It is worth mentioning that the pH and acidity parameters are determined and interpreted in different ways. The pH content of a food matrix has an inversely proportional relationship established with the acidity content, where it is highlighted that during the drying of a food matrix, the acidity content of a product tends to increase, since the water content of the dissolution medium decreases (Geraldi et al., 2020).

The application of heat on food matrices can also significantly influence the concentration/retention or loss of certain compounds, such as micronutrients. This group includes both minerals and vitamins.

Minerals obtained through diet are essential in the oxidation-reduction processes, acting as reaction catalysts, and consequently potentiating changes in the profile of preservation of the nutritional value of products subjected to drying (Celestino et al. 2010).

In food drying, using the foam layer technique in particular, several researchers point out that when incorporating emulsifying agents for the raw material agitation process, in obtaining the foamy complex, the content of fixed mineral residue, detected in the sample, tends to increase, proving to be noticeable in analyzes such as that of ash, where the matter is submitted to an incineration process (Celestino, 2010; Geraldi et al. 2020).

Likewise, vitamins, whether water-soluble (Complex B and Vit. C) or fat-soluble (A, D, E and K), are essential for the vital processes of the organism, in all degrees of complexity. However, when subjecting a food matrix to heat, the action of temperature tends to degrade a large part of its content, as these molecules are thermolabile, that is, sensitive to heat. When analyzing all the previously mentioned studies, we identified a strong tendency to specifically characterize the vitamin C content of fruit samples (Silveira and Silva, 2021).

Vitamin C is particularly affected by temperature waves, tending to volatilize to a greater degree, expressing a higher percentage of loss when a comparative axis is established between fresh pulp and dehydrated fruit pulp. On the other hand, fat-soluble vitamins (and their by-products) are more stable when subjected to thermal processes, expressing lower losses after the process, however, they can react with peroxides resulting from lipid oxidation processes and cause oxidizing events (GUIN, 2018).

In this sense, the physical-chemical analysis of these compounds to establish a comparison in quantitative terms of fresh pulp and dried pulp, becomes an important instrument to identify which and in what proportion, the vitamins were volatilized during drying, thus making it possible, identify the best drying conditions to which a given matrix should be submitted (Rigueto et al. 2018).

5. Conclusion

The drying method is an important vehicle in food preservation practices, and it still permeates as an element in several industrial processes, offering a wide diversity of application, however, it still remains a methodology seen as "critical" in the sector. of food production, especially when the maximum focus of efforts is to obtain a material of high quality, nutritional and sensorial.

The applicability of the process to a range of foods, places the operation in a position of constant demand for technological advances and innovations, which lead to better drying, in a more efficient and energetic way, guaranteeing a better preservation of the global characteristics of the food. to be dried, avoiding deteriorating and harmful events in general.

In this sense, the foam layer drying technique proves to be a technological innovation, becoming a viable model in the optimization of the drying of vegetables, such as fruit matrices, being an ally in the preservation of specific characteristics of the product. From the incorporation of air, in the formation of the foam, there is a significant reduction in the thermal conductivity of the product, and the expanded foam contributes to the reduction of the drying time, due to the increase in the surface area, allowing greater diffusion of the content. matrix to be dried, greater preservation of thermolabile compounds and greater retention of bioactive compounds, such as carotenoids, facilitating and allowing their application in different industrial niches.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no competing interests.

Acknowledgement

The authors acknowledge the support for this review given by the Rio de Janeiro State Research Foundation (FAPERJ; E-26.202.749/2018), National Council for Scientific and Technological Development (CNPq; 311936/2018e0).

References

- Alves, S. B. 2014. *Theoretical and experimental study of the drying process of avocado (Persea americana Mill)*. 140p. Doctoral Thesis in Mechanical Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa.
https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7576?locale=pt_BR
- Augusta, I. M. Resende, J. M., Borges, S. V., Maia, M. C. A., Couto, M. A. P. G. 2010. Physical and chemical characterization of malay red-apple (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry) Skin and pulp. *Ciênc. Tecnol. Alimentos*, Campinas, 30(4):928-932. doi: [10.1590/S0101-20612010000400014](https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400014)
- Azeredo, H.M.C.; Brito, E.S. Physical changes in food during storage. In: AZEREDO, H. M. C. (Ed.). *Food stability fundamentals*. 2 nd. rev. ampl. Fortaleza: Embrapa Tropical Agroindustry, 2012. p. 80 - 82.
- Bastos, D.S., Soares, D.M.B.G., Araújo, K.G.L., Verruma-Bernadi, M.R. 2005. Dehydration of "Tommy Atkins" mango pulp using the foam mat drying technique: physical-chemical and sensory chemical evaluations. *Brazilian Journal of Food Engineering*, São Paulo, 8(4):283-290.
<http://bjft.ital.sp.gov.br/arquivos/artigos/v8n4216a.pdf>
- Beegum, P. P. S., Manikantan, M. R.; Anju, K. B.; Vinija, V.; Pandiselvam, R.; Jayashekhar, S.; Hebbar, K. B. 2022. Foam Mat Drying Technique in Coconut Milk: Effect of Additives on Foaming and Powder Properties and Its Economic Analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46 (11).
<https://doi.org/10.1111/jfpp.17122>
- Bell, L. N. Moisture Effects on Food's Chemical Stability. In: *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*: Jonh Wiley & Sons, Inc. 2020.2 ed., p. 227-253.
- Benković, M., Pižeta, M., Jurinjak Tušek, A., Jurina, T., Gajdoš Kljusurić, J., Valinger, D. 2019. Optimization of the Foam Mat Drying Process for Production of Cocoa Powder Enriched with Peppermint Extract. *LWT – Food Science and Technology*, 115, 108440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108440>
- Boeri, C. N. 2012. *Convective drying of food products: optimization and control*. 358p. Doctoral thesis in Mechanical Engineering, University of Aveiro, 2012.

- Brazil. Ministry of Health. National Health Surveillance Agency (ANVISA). Ordinance n°. 540 of October 27, 1997. Technical Regulation: Food Additives – definitions, classification and use. **Federal Official Gazette (DOU)**. Brasília, DF: Executive power, 28 out. 1997.
- Canepelle, E., Writzl, T. C., Steffler, A. D., Redin, M., Weber, F. H., Sherer, G. C. R. S. Influence of drying methods and sample preparation on the dehydration and rehydration process of Pineapple Pérola Ananas comosus L. *Brazilian Magazine of Agroindustrial Technology*, Francisco Beltrao, v. 14, no. 02: p. 3267-3283, Jul./Dec. 2020. <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta>
- Cardoso, C. E., & Fonseca Lobo, F. A. T. 2021. Study of the process of obtaining red beet pulp (*Beta vulgaris* L.) in powder by the foam mat drying method for application in foods in order to replace synthetic food dyes. *Journal of the Brazilian Nutrition Association - RASBRAN*, 12(1), 131–152. doi:[10.47320/rasbran.2021.1869](https://doi.org/10.47320/rasbran.2021.1869)
- Carvalho, T. I. M., Nogueira, T. Y. K., Mauro, M. A., Alonso, S. G., Gomes, E., Da-Silva, R., Hermonsín-Gutierrez, I., Gómez-Alonso, S., Lago-Vanzela, E. S. 2017. Dehydration of jambolan [*syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. *Food Research International*. 105: 1060. doi: [10.1016/j.foodres.2017.12.077](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.077)
- Cavalcante, M. D., Belisário, C. M., Oliveira, D. E. C., Maia, G. P. A. G. 2020. Quality of cagaita powder by foam layer drying method and different foamer agents. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal 40(3):381-387. doi: [10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n3p381-387/2020](https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n3p381-387/2020)
- Celestino, Sonia Maria Costa. Food Drying Principles - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.51 p.— (Documents / Embrapa Cerrados, ISSN 15175111, ISSN online 2176-5081; 276).
- Curcio, S., Aversa, M., Calabrò, V., Lorio, G. 2008. Simulation of food drying: FEM analysis and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 87(4):541-553. doi: [10.1016/j.jfoodeng.2008.01.016](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.016)
- Dabestani, M., Yeganehzad, S. 2019. Effect of Persian Gum and Xanthan Gum on Foaming Properties and Stability of Pasteurized Fresh Egg White Foam. *Food*

Hydrocolloids, 87, 550–560. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.030>

- Dantas, S. C. M. 2010. *Dehydration of fruit pulps by the foam mat method*. 100p. Master's Dissertation in Chemical Engineering, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal – RN. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15794>
- Elpídio, C. M. A., Machado, A. K. T., Oliveira, J. A., Medeiros, M. F. D. 2020. Plum drying by foam layer method: study on process variables and powder quality. In: Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. (Org.). *Science, Technology and Innovation: Challenge for a Global World 4*. 1ed. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, v. 1, p. 76-92. doi: <https://10.22533/at.ed.4422026068>
- Franco, T. S. 2015. *Dehydration of yacon juice by the foam layer method*. 192 f. Thesis the Doctorate in Food Engineering - Federal University of Paraná, Curitiba. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38215>
- Freitas, R. C. P. 2016. *Characterization of the foam bed drying process to obtain ubá mango powder*. 100 p. Doctoral Thesis in Agricultural Engineering – Federal University of Viçosa, Minas Gerais. <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10388/texto%20completo.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Geraldi, C. A. Q., Andrade, M. F. A. F., Machado, F. P. P., Loss, R. A., Guedes, S. F. 2020. Study of drying kinetics and physical and chemical characterization of Pitanga pulp (*Eugenia uniflora*) In: *Congresso Internacional da Agroindústria*, I, Recife. Anais eletrônicos. Instituto Internacional Despertando Vocações, 2020. doi: [10.31692/ICIAGRO.2020.0496](https://doi.org/10.31692/ICIAGRO.2020.0496)
- Gharbi, N., Labbafi, M. 2019. Influence of Treatment-Induced Modification of Egg White Proteins on Foaming Properties. *Food Hydrocolloids*, 90, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.060>
- Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Afonso Jr, P. C., Oliveira, G. H. H. 2009. Drying kinetics of thin-layer dehulled coffee beans. *Brazilian Storage Magazine*, Viçosa, 11, p. 64-73. https://www.researchgate.net/publication/258242741_Cinetica_de_secagem_dos_graos_de_cafe_descascados_em_camada_delgada
- Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Resende, O., Reis Neto, S. A. 2007. Estudo da difusão

- de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 27(1): 135-140. [doi:10.1590/S0101-20612007000100024](https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100024)
- Gurgel, C. E. M. R. 2014. *Drying of soursop pulp (Annona muricata L.) in foam layer - process performance and product characteristics*. 80 f. Masters dissertation. Department of Chemical Engineering. Technology Center. Graduate Program in Chemical Engineering. Federal University of Rio Grande do Norte, Natal – RN. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22743>
- Hardy, Z., Jideani, V. A. 2015. Foam-mat Drying Technology: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12): 2560-2572. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1020359>
- Heldman, D. R. and Hartel, R. W. *Principles of Food Processing*. Chapman & Hall, p. 1-218, 2000.
- Hernandes, N. K. 2006. *Application of low doses of gamma radiation to extend the shelf life of red beet (Beta vulgaris ssp. vulgaris L.), cv. early wonder, minimally processed*. 107 p. Thesis (Doctorate in Sciences) - Institute of Agronomy, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. [https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/tede/542/1/2006 - Nilber%20Kenup%20Hernandes.pdf](https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/tede/542/1/2006_Nilber%20Kenup%20Hernandes.pdf)
- Izadi, Z.; Mohebbi, M.; Shahidi, F.; Varidi, M.; Salahi, M. R. 2020. Cheese Powder Production and Characterization: A Foam-Mat Drying Approach. *Food and Bioproducts Processing*, 123, 225–237. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.06.019>
- Júnior, H. C. M. S. 2021. *Microwave food drying: development of a vacuum dryer prototype, process analysis and application on different types of food*. 81p. Doctoral Thesis in Food Science and Engineering, Area of Concentration in Food Engineering, Itapetinga, BA. <http://www2.uesb.br/ppg/ppgecal/wp-content/uploads/2021/05/Tese-Hudson-Maia.pdf>
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S., Maladhi, D. 2014. Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp. *J Food Sci Technol* 51, 2526-2534. [doi:10.1007/s13197-012-0812-y](https://doi.org/10.1007/s13197-012-0812-y)
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Shaik, K. 2012. Preparation of papaya powder under foam-mat drying technique using egg albumin as foaming agente.

International Journal of Bio-resource and Stress Management, 3(3):324-31.
https://www.researchgate.net/publication/257921261_Preparation_of_Papaya_Powder_under_Foam-Mat_Drying_Technique_using_Egg_Albumin_as_Foaming_Agent

Kumar, A., Kandasamy, P., Chakraborty, I. 2022. Analysis of Foaming Properties of Mango Pulp for Foam-Mat Drying: Impact of Egg Albumin Concentration and Whipping Time. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 103 (3), 717–724. <https://doi.org/10.1007/s40030-022-00661-1>

Kumar, G., Kumar, N., Prabhakar, P. K., Kishore, A. 2022. Foam mat drying: Recent advances on foam dynamics, mechanistic modeling and hybrid drying approach. *Critical Reviews in Food Science Nutritional*. Apr 5:1-17. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2053061>

Leal, A. K., Geraldi, C. A. Q., Klassen, T. 2016. Influence of drying temperature through the foam layer method, on the concentration of ascorbic acid, in the pulp of pineapple, acerola and carambola fruits. In: *XXI Brazilian Congress of Chemical Engineering*, Fortaleza. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/influencia-da-temperatura-de-secagem-atraves-do-metodo-de-camada-de-espuma%2C-na-concentracao-de-acido-ascorbicos%2C-nas-pol?lang=pt-br>

Lobo, F. A. T. F. 2017. *Dehydration of mango pulp from the Tommy Atkins variety by Foam Mat Drying, aiming at the retention of bioactive compounds and the formulation of foods with functional appeal*. 158 p. Thesis (Doctorate in Sciences Applied to Health Products) – Faculty of Pharmacy, Fluminense Federal University, Niterói. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5610>

Lobo, F. A. T. F., Domingues, J., Falcão, D., Stinco, C., Rodríguez-Pulido, F., Faria, C. E., Heredia, F., Araujo, K. G. L. and Vila, D. 2020. Foam Mat Drying of Tommy Atkins Mango: Effects of Air Temperature and Concentrations of Soy Lecithin and Carboxymethylcellulose on Carotenoid Compounds and Colorimetric Parameters. *J Food Chem Nanotechnol* 6(1): 1-8. doi: [10.17756/jfcn.2020-077](https://doi.org/10.17756/jfcn.2020-077)

Lobo, F. A., Nascimento, M. A., Domingues, J. R., Falcão, D. Q., Hernanz, D., Heredia, F. J., de Lima Araujo, K. G. Foam Mat Drying of Tommy Atkins Mango: Effects of Air Temperature and Concentrations of Soy Lecithin and

- Carboxymethylcellulose on Phenolic Composition, Mangiferin, and Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*, 2017, 221, 258–266.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.080>
- Mangueira, E. R. 2018. *Study of foam layer drying (foam-mat drying) of duck egg*. 112 p. Master's Dissertation in Chemical Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa.
- Marques, G. M. R., Arruda, R. S., Silva, A. A. L. Drying of sugarcane juice in a bed of foam and physicochemical characterization of the product. *Brazilian Journal of Food Research*, Campo Mourão 7(2):16-29. doi: [10.3895/rebrapa.v7n2.3500](https://doi.org/10.3895/rebrapa.v7n2.3500)
- Martins, J. P., Neto, J. C. B., Silva, A. J. O., Siqueira, A. M. O. 2020. Drying: a review. *The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC* 6 (4).
doi:10.18540/jcecvl6iss4pp0600-0607i
- Monteiro, R. L., Link, J. V., Tribuzi, G., Carciofi, B. A. M., Laurindo, J. B. 2018. Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, v. 232: 1-10. [doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.03.015](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.015)
- Negreiros, J. K. S. 2019. *Foam drying of pomegranate juice, composed of its pulp and rind*. 107p. Master's Dissertation in Chemical Engineering, Federal University of Paraíba, João Pessoa.
https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20110?locale=pt_BR
- Nunes, J. S., Lins, A. D. F., Gomes, J. P., Silva, W. P. da, & Silva, F. B. da. 2017. Influence of drying temperature on the physicochemical properties of pineapple residues. *Agropecuária Técnica*, 38(1): 41–46. [doi: 10.25066/agrotec.v38i1.29991](https://doi.org/10.25066/agrotec.v38i1.29991)
- Oliveira, G. S.; Costa, J. M. C. da; Afonso, M. R. A. 2014. Hygroscopic Characterization And Behavior Of Lyophilized Cajá Pulp Powder. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18 (10), 1059–1064.
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1059-1064>
- Pacheco, R. S., Lobo, F. A. T. F., Telles, L. P. M., Gomes, K. L. A. 2020. Drying of guava pulp (psidium guajava) of the Pedro Sato variety by the foam mat drying method for application in food. *Journal of the Brazilian Nutrition Association - RASBRAN*, [S. l.], 10(2):59–65.
<https://www.rasbran.com.br/rasbran/article/view/1619>

- Pernell, C.W., Foegeding, E. A., Luck, P. J., Davis, J. P. 2002. Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 238(3):9-21. [doi: 10.1016/S0927-7757\(01\)01061-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(01)01061-5)
- Qadri, O. S., Srivastava, A. K., Yousuf, B. 2019. Trends in Foam Mat Drying of Foods: Special Emphasis on Hybrid Foam Mat Drying Technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60 (10), 1667–1676. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1588221>
- Qadri, O. S.; Srivastava, A. K. 2020. Prototype Continuous Microwave Foam-Mat Dryer: Design and Fabrication. *Journal of Food Science and Technology*, 58 (9), 3357–3367. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04907-3>
- Raja, K. S., Taip, F. S., Azmi, M. M. Z., Shishir, M. R. I. 2019. Effect of Pre-Treatment and Different Drying Methods on the Physicochemical Properties of Carica Papaya L. Leaf Powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18 (2), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.04.001>
- Raupp, D. S.; Gabriel, L. S.; Vezaro, A. F.; Daros, P. A.; Chrestani, F.; Gardingo, J. R.; Borsato, A. V. (2007). Dehydrated long life tomato at different drying temperatures. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 29, p. 33-39. <https://www.redalyc.org/pdf/3030/303026572005.pdf>
- Ribeiro, E. P., Seravalli, E. A. G. *Food Chemistry*. 2nd ed. São Paulo: Blucher, 2007. p.168.
- Rigueto, C. V. T., Evaristo, L. M., Geraldi, C. A. Q., Covre, L. 2018. Influence of drying temperature on uvaia (*Eugenia pyriformis*) foam layer. *Engevista* 20(4):537-547. doi:[10.22409/engevista.v20i4.9540](https://doi.org/10.22409/engevista.v20i4.9540)
- Rigueto, C. V. T., Evaristo, L. M., Nazari, M. T., Rossetto, M., Dettmer, A., Geraldi, C. A. Q., Piccin, J. S. 2020. Influence of foam-mat drying temperature of red jambo (*Syzygium malaccense*). *Research, Society and Development*, 9(3): e40932382. [doi: 10.33448/rsd-v9i3.2382](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2382)
- Rodrigues, D. J., Geraldi, C. A. Q., Loss, R. A. 2020. Secagem em camada de espuma e caracterização físico química da polpa de Guavira (*Campomanesia adamantium*). In: *Congresso Internacional da Agroindústria*, Recife. Disponível em: <https://ciagro.institutoidv.org/ciagro/uploads/1972.pdf>.

- Samyori, D., Deka, S. C., Das, A. B. 2021. Physicochemical and phytochemical properties of foam mat dried passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) powder and comparison with fruit Pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 787-796. doi: [10.1007/s13197-020-04596-y](https://doi.org/10.1007/s13197-020-04596-y)
- Sangamithra, A., Sivakumar, V., Kannan, K., John, S. G. 2015. Foam-mat Drying of Muskmelon. *International Journal of Food Engineering*, 11(1): 127-137. doi:10.1515/ijfe-2014-0139
- Santana e Silva, A. B., Giardina da Silva, E., Rigo, L., Prado de Oliveira, M., Loss, R. A., Ferreira Guedes, S., de Paula, J. M., & Queli Geraldi, C. A. 2021. Técnicas de secagem de frutas: uma revisão. *Scientific Electronic Archives*, 14(10). doi: [10.36560/141020211424](https://doi.org/10.36560/141020211424)
- Schwartz, S.J. et al. Dyes. In: Damodaran, S., Parkin, K.L. *Fennema's Food Chemistry*. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2019. cap. 10, p. 677 - 748.
- Shishir, M. R., Taip, F. S., Saifullah, M., Young, S. Y., A., A. N., Talib, R. A. (2018). Changes in quality attributes of pink guava (*Psidium guajava*) powder with respect to different drying techniques and maltodextrin concentrations. *International Food Research Journal*, v. 25, p. 1625-1632. [http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20\(04\)%202018/\(40\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20(04)%202018/(40).pdf)
- Sifat, S. A. D., Trisha, A. T., Huda, N.; Zzaman, W., Julmohammad, N. 2021. Response Surface Approach to Optimize the Conditions of Foam Mat Drying of Plum in Relation to the Physical-Chemical and Antioxidant Properties of Plum Powder. *International Journal of Food Science*, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2021/3681807>
- Silva, A. S., Gurjão, K. C. O., Almeida, F. A. C., Bruno, R. L. A., Pereira, W. E. 2008. Dehydration of tamarindo Pulp through the foam-mat drying method. *Science and Agrotechnology*. 32(6):1899-1905. doi: [10.1590/S1413-70542008000600032](https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000600032)
- Susanti, D. Y., Sediawan, W. B., Fahrurrozi, M., Hidayat, M. 2021. 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*, 20 (4), 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.02.007>
- Tavares, I. M. C., Sumere, B. R., Gómez-Alonso, S., Gomes, E., Hermosín-Gutierrez,

- I., Da Silva, R., Lago-Vanzela, E. S. 2020. Storage stability of the phenolic compounds, color and antioxidant activity of jambolan juice powder obtained by foam mat drying. *Food Research International*. 128:108750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108750>
- Vieira, A. S. 2014. *Drying guava residue in a dryer convective tray: modeling mathematics and process analysis*. Doctoral Thesis presented to the Program of Graduate Studies in Chemical Engineering PPGEQ, from the Federal University of Rio Grande do Norte – UFRN.
https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/19787/1/AndreiaSoutoVieira_TES E.pdf
- Vimercati, W. C., Macedo, L. L., Araújo, C. S., Teixeira, L. J. Q., Saraiva, S. H. 2019. Effect of temperature on drying kinetic in foam mat and anthocyanin degradation in strawberry. *Brazilian Journal Food Technology*, Campinas, v.22. doi: [10.1590/1981-6723.22118](https://doi.org/10.1590/1981-6723.22118)
- Yüksel, A. N. 2021. Development of yoghurt powder using microwave-assisted foam-mat drying. *Journal of Food Science and Technology*. Jul;58(7):2834-2841. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05035-2>
- Zhao, D. *et al.* 2014. Two-stage intermittent microwave coupled with hot-air drying of carrot slices: drying kinetics and physical quality. *Food and Bioprocess Technology* 7 (8): 2308-2318. doi:10.1007/s11947-014-1274-1

Capítulo 3
Artigo Original

Influence of drying in a foam layer on the physicochemical quality, phenolic composition and antioxidant capacity of Red Guava (*Psidium guajava*) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) powder

Full Author Names: Carlos Eduardo de Faria Cardoso^a (caedufariac@edu.unirio.br; ORCID ID: 0000-0002-8206-0212), Maria Eduarda Flores Trindade^a (mariaeduardaflores@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-9579-4381); Michelle Gonçalves Santana^a (michellesantana@edu.unirio.br; ORCID ID: 0000-0003-1912-0021); Francine Albernaz Teixeira Fonseca Lobo^{a,b} (francinealbernazlobo@gmail.com; ORCID ID: 0000-0001-6702-8604) and *Anderson Junger Teodoro^{a,c} (atteodoro@gmail.com; ORCID ID: 0000-0002-0949-9528)

Full Institutional Mailing Addresses: ^aGraduate Program in Food and Nutrition (PPGAN), Federal University of the State of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Av. Pasteur, 296, Rio de Janeiro 22290-240, Brazil; ^bDepartment of Food Science and Nutrition, School of Nutrition, Federal University of the State of Rio de Janeiro, Av. Pasteur, 296, Rio de Janeiro 22290-240, Brazil; ^cDepartment of Nutrition and Dietetics, Faculty of Nutrition, Fluminense Federal University, Rua Mário Santos Braga, 30 Faculty of Nutrition, Room 409, Center 24020140, Niterói, Brazil.

***Corresponding author at: Anderson Junger Teodoro.** Department of Nutrition and Dietetics, Faculty of Nutrition, Fluminense Federal University, Rua Mário Santos Braga, 30 Faculty of Nutrition, Room 409, Center 24020140, Niterói, Brazil. Tel: + 55 21 99531-1926. E-mail: atteodoro@gmail.com.

Manuscrito submetido no periódico *Food Chemistry Advances* em 08 de março de 2023.
Anexo 2 – Comprovante de submissão.

Considerações finais geral

Através dos achados contemplados no Capítulo II deste trabalho, entende-se que a aplicação da tecnologia de secagem, torna-se um importante veículo nas práticas de conservação de alimentos desde a antiguidade e, ainda permeia como elemento em diversos processos industriais atualmente, oferecendo uma ampla diversidade de aplicação na produção de subprodutos alimentícios, principalmente quando o foco máximo de esforços é a obtenção de um material de alta qualidade nutricional, tecnológica e sensorial. A principal colaboração científica desse capítulo, é o fomento da ideia geral, de que à aplicação da secagem a uma variedade de alimentos, coloca a operação em uma posição de constante exigência de avanços tecnológicos e inovações, de forma mais eficiente e energética, garantindo uma melhor preservação das características globais do produto seco, mediante otimização da forma em que é conduzido. Ademais, esse capítulo poderá facilitar o entendimento da origem, particularidades da técnica de secagem em camada de espuma e como ela influencia no processamento de frutas, embasando os achados posteriores apresentados no Capítulo III.

O Capítulo III gerou um material importante tanto para a indústria de alimentos processados, quanto para a ciência, pois trata-se de uma pesquisa experimental completa, que por sua vez, comprovou que é possível desenvolver subprodutos de frutas tropicais, à partir da aplicação da secagem em camada de espuma, obtendo ao final do processo, produtos apreciados do ponto de vista nutricional, tecnológico e sensorial simultaneamente. Validou ainda, a utilização da técnica, a partir da inserção da albumina em pó, enquanto agente espumante e encapsulante de substâncias sensíveis capaz de agregar funcionalidade aos pós de fruta, constatado pela retenção e aumento de compostos fenólicos e capacidade antioxidante dos produtos. Pode ser considerado o capítulo que desvendou o potencial inovador dessa pesquisa quando apresentou, pós de goiaba e melancia obtidos por secagem em camada de espuma, sendo superior em termos funcionais e tecnológicos a pós obtidos por liofilização, método até então, visto como padrão ouro, na perspectiva de processos.

Portanto, a aplicação dos conhecimentos obtidos nessa pesquisa como um todo, poderá, a curto prazo, beneficiar pesquisadores da área das Ciências Agrárias e da Ciência de Alimentos, fomentando a aplicação da técnica sob outras matrizes alimentares, agregando valor a elas e principalmente, impedindo desperdícios pós-colheita. E, a longo

prazo, poderá beneficiar a população preocupada em prevenir doenças crônicas como o diabetes, cânceres e a obesidade ou até mesmo ter um coadjuvante no tratamento dessas patologias, com subprodutos funcionais com esse propósito, podendo ser essas possíveis temáticas abordadas e discutidas em pesquisas futuras no cenário acadêmico.

ANEXO I – Manuscrito publicado na *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Fator de impacto: 11,208) em 22 de dezembro de 2022.

CRITICAL REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND NUTRITION
<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2159922>



REVIEW



Influence of foam mat drying on the nutritional and technological potential of fruits – a review

Carlos Eduardo de Faria Cardoso^a , Francine Albernaz Teixeira Fonseca Lobo^b and Anderson Junger Teodoro^{a,c}

^aGraduate Program in Food and Nutrition (PPGAN), Federal University of the State of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; ^bDepartment of Food Science, School of Nutrition, Federal University of the State of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil; ^cDepartment of Nutrition and Dietetics, Faculty of Nutrition, Fluminense Federal University, Niterói, Brazil

ABSTRACT

The consumption of fruits and vegetables is strongly encouraged in the nutritional recommendations presented in national and international guidelines, which strongly advise the intake of these elements as part of a healthy diet. However, this type of food matrix has a low post-harvest durability, making it necessary to apply techniques that extend its shelf life. Among the methods that can be applied, drying acts as a unitary operation of wide use, presenting low operational cost, ease of handling and wide variation of procedural techniques. However, it still remains a methodology seen as "critical" in the food sector, especially when the maximum focus of efforts is to obtain a material of high quality, nutritional and sensorial. In this context, foam layer drying has gained recognition as an effective and low-cost technique, where foam porosity and higher surface area-volume ratio provide high heat and mass transfer rates, reducing process time and improving the physical-chemical quality of the final product. We provide information capable of elucidating that drying requires a large amount of energy for the operation, and that many studies are still needed in order to optimize the process and guarantee the economic, nutritional and functional viability of the final product.

KEYWORDS

Drying kinetics; foam mat drying; fruits; nutritional composition

Introduction

One of the pillars of the food industrialization process is based on maintaining the stability of the food matrix, ensuring the optimization of its shelf life and physical and nutritional characteristics for later commercialization in the consumer market, making it necessary to apply methods of conservation, which limit the development and action of intrinsic and extrinsic factors of the matrix related to deteriorating processes, such as the growth of microorganisms and chemical and enzymatic reactions (Martins et al. 2020).

Among the most varied methods used for the conservation of food matrices, drying is one of the oldest, and is still widely used in the current food scenario. The process consists of a "unit operation", that is, it is a fraction of a larger process, which is based on the removal, either partial or total, of the water present in a food, through a process that involves the transfer of mass and energy in the form of heat, where a stream of hot air flows over the material to be dried, this process being mainly governed by convection (a form of heat exchange) (Júnior 2021).

Water is present in numerous food matrices and is essential for the functional dynamics of the mechanisms developed by living organisms, acting as a solvent and also as a transport vehicle for a variety of reactions (Schwartz,

Damodaran, and Parkin 2019). During drying, depending on the amount of water that is removed from the food matrix, it is possible to significantly reduce the speed and proportion rate of the growth of microorganisms and of browning and oxidation reactions, by creating an unfavorable environment for their occurrence (Bell 2020; Júnior 2021).

The drying rate is influenced by the various mechanisms involved in heat transfer, such as the vapor pressure of the food and also of the drying air, in addition to the circulating air velocity, exposure temperature, thickness and exposure surface of the matrix to be dry. In industry, in addition to this "conservative" function, drying is also applied to facilitate the transport and storage of raw materials, by reducing the monetary and energy costs involved in the production stage (Schwartz, Damodaran, and Parkin 2019; Júnior 2021).

The products obtained through dehydration are lighter and less bulky, which facilitates their handling and distribution along the production chain, becoming elements of convenience for the various industries. In other cases, drying has the additional benefit of allowing the marketing of some foods in the off-season (Lobo 2017). Despite the numerous advantages, as a conservation technique, the products obtained from drying by exposing convective air, may present low general quality, such as low rehydration capacity, structural changes, shrinkage of support structures, in

CONTACT Anderson Junger Teodoro atteodoro@gmail.com
© 2022 Taylor & Francis Group, LLC



ANEXO II – Carta referente à comprovação de submissão do Artigo
apresentado no Capítulo III

----- Forwarded message -----

De: **Food Chemistry Advances** <em@editorialmanager.com>

Date: qua., 8 de mar. de 2023 às 13:56

Subject: FOCHA-D-23-00092 - Confirming your submission to Food Chemistry Advances

To: **Anderson** Teodoro <atteodoro@gmail.com>

Dear Dr. Teodoro,

Your submission entitled Influence of drying in a foam layer on the physicochemical quality, phenolic composition and antioxidant capacity of Red Guava (*Psidium guajava*) and Watermelon (*Citrullus lanatus*) powder has been received by Food Chemistry Advances. It has been assigned the following manuscript number: FOCHA-D-23-00092.

Your manuscript is now with our editorial office and will go through a technical check. This process typically takes 1-2 weeks. If it passes, it will receive a manuscript number and be assigned to the Editor-in-Chief or Senior Editor who will do an initial scientific assessment. If it passes this stage, it will be assigned to an editor for peer review.

For a more detailed description of the editorial process, please see Paper Lifecycle from Submission to Publication: http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/160/p/8045/