



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos



ELIZENY DE FÁTIMA SOARES MACIEL

Aproveitamento de resíduo do processamento de mamão formosa (*Carica papaya L.*) e otimização do método de secagem por *spray drying*

Patos de Minas - MG

2024

ELIZENY DE FÁTIMA SOARES MACIEL

Aproveitamento de resíduo do processamento de mamão formosa (*Carica papaya L.*) e otimização do método de secagem por *spray drying*

Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-graduação em
Engenharia de Alimentos da Universidade
Federal de Uberlândia campus Patos de
Minas

Orientador: Ricardo Côrrea de Santana
Coorientadora: Michelle Andriati Sentanin

Patos de Minas – MG

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M152
2024

Maciel, Elizeny de Fátima Soares, 1986-
Aproveitamento de resíduo do processamento de mamão
formosa (*Carica papaya* L.) e otimização do método de
secagem por spray drying [recurso eletrônico] / Elizeny
de Fátima Soares Maciel. - 2024.

Orientador: Ricardo Côrrea de Santana.

Coorientador: Michelle Andriati Sentanin .

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.460>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Alimentos - Indústria. I. Santana, Ricardo Côrrea
de ,1981-, (Orient.). II. , Michelle Andriati
Sentanin,1982-, (Coorient.). III. Universidade Federal
de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.
IV. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 10/2024 - PPGEA				
Data:	Vinte e quatro de julho de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:45
Matrícula do Discente:	42212EAL004				
Nome do Discente:	Elizeny de Fátima Soares Maciel				
Título do Trabalho:	Aproveitamento do resíduo do processamento de mamão formosa (<i>Carica papaya L.</i>) e otimização do método de secagem por <i>spray drying</i>				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Ricardo Correa de Santana (Presidente/Orientador), Marieli de Lima (Membro UFU), Marta Fernanda Zotarelli (Membro UFU) e Cintia Nanci Kobori (Membro Externo).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e o(a) discente, agradeceu a participação do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) mesmo(a) se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu o conceito final, considerando o(a) discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zotarelli, Membro de Comissão**, em 26/07/2024, às 17:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Presidente**, em 26/07/2024, às 19:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cintia Nanci Kobori, Usuário Externo**, em 28/07/2024, às 20:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Membro de Comissão**, em 19/08/2024, às 14:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 5559805 e o código CRC A1443F48.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha força, minha rocha, o qual, por meio do seu poder que age em nós, pode fazer muito mais do que nós pedimos ou até pensamos. Deus, sem ti, nada dessa árdua jornada seria possível! Obrigado por sempre cuidar de mim e me guiar.

A minha família, em especial a meu filho Pedro, que mesmo tão pequeno esteve comigo o tempo todo, não me deixando desistir, que bom que tenho você, meu maior incentivo. Filho que eu seja exemplo de força e coragem na sua vida!

Ao meu esposo Wilian, por ser meu companheiro em todas as horas, dividindo as dores e alegrias dessa vida.

Meus pais Adalton e Eva, meus irmãos, meu suporte nos momentos mais difíceis, estando presente nas conquistas e nas angústias dessa caminhada chamada vida.

Aos meus orientadores Dr. Ricardo Côrrea e Dra. Michelle Andriati que me ajudaram e incentivaram do início até aqui.

A todos colegas, professores e técnicos e todos da Universidade Federal de Uberlândia que me ajudaram nessa jornada o meu agradecimento e minha gratidão.

Não é sobre chegar no topo do mundo
E saber que venceu
É sobre escalar e sentir

Que o caminho te fortaleceu É sobre ser
abrigo

E também ter morada em outros
corações E assim ter amigos contigo

Em todas as situações

A gente não pode ter tudo

Qual seria a graça do mundo se fosse
assim? Por isso, eu prefiro sorrisos

E os presentes que a vida trouxe Pra
perto de mim

Não é sobre tudo que o seu dinheiro É
capaz de comprar

E sim sobre cada momento Sorrindo a se
compartilhar Também não é sobre correr

Contra o tempo pra ter sempre mais
Porque quando menos se espera

A vida já ficou pra trás

Segura teu filho no colo Sorria e abraça
teus pais Enquanto estão aqui

Que a vida é trem-bala, parceiro

E a gente é só passageiro prestes a partir

“Ana Vilela”

RESUMO

Durante o processamento do mamão são geradas grandes quantidades de subprodutos como cascas e sementes que possuem potencial de aproveitamento. O objetivo desse estudo foi secar e otimizar o processo de secagem do resíduo do mamão formosa (cascas e sementes) através do método de secagem por atomização (*spray drying*), utilizando planejamento experimental composto central ortogonal. As variáveis independentes estudadas foram temperatura do ar de secagem (105-130°C), vazão de alimentação da solução no secador (0,4-0,8 L/h), vazão do ar de secagem (1,6-1,8 m³/min) e concentração de maltodextrina (5-20%) buscando identificar as melhores condições operacionais que propiciassem propriedades físico-químicas e nutricionais satisfatórias para o resíduo de mamão seco. Os resultados revelaram que os pós do resíduo do mamão obtidos apresentaram umidade baixa, com valores inferiores a 3,5%. Além disso, a atividade de água variou de 0,114 a 0,293. Foi verificado que a presença de maltodextrina contribuiu significativamente para a redução da higroscopicidade dos pós. Quanto ao rendimento, constatou-se que maiores concentrações de maltodextrina aliadas a temperaturas mais elevadas apresentaram maiores rendimentos. Em relação à cor, houve uma tendência de maior luminosidade com temperaturas mais baixas e maiores níveis de agente aditivo. Verificou-se que o material seco foi mais claro que o material *in natura*, provavelmente devido à adição da maltodextrina. Os valores encontrados de acidez total, em geral, foram relativamente baixos, o que traduz em doçura ao material. O maior valor de teor de ácido ascórbico obtido no estudo foi de 0,32 mg·100 g⁻¹ (b.s.). Quando adotadas altas vazões de ar de secagem e baixas temperaturas, houve o aumento da concentração de fenólicos. Os teores de flavonoides tenderam a aumentar com maiores concentrações de maltodextrina. No que diz respeito aos valores de carotenoides totais, o maior valor obtido foi de 71,21 µg/g na condição de menor concentração de maltodextrina. A obtenção do pó do resíduo do mamão em *spray dryer* indica que é possível seu aproveitamento, com a preservação de suas propriedades bioativas.

Palavras-chave: mamão formosa, resíduos industriais, secagem por atomização, compostos bioativos.

ABSTRACT

During the processing of papaya, large quantities of by-products are generated, such as peels and seeds, which have potential for use. The aim of this study was to dry and optimize the drying process of formosa papaya waste (peels and seeds) using the spray drying method, using orthogonal central composite experimental design. The independent variables studied were the temperature of the drying air (105-130°C), the flow rate of the solution fed into the dryer (0.4-0.8 L/h), the flow rate of the drying air (1.6-1.8 m³/min) and the concentration of maltodextrin (5-20%) in an attempt to identify the best operating conditions that would provide satisfactory physicochemical and nutritional properties for the dried papaya residue. The results showed that the papaya waste powders obtained had low humidity, with values of less than 3.5%. In addition, the water activity ranged from 0.114 to 0.293. It was found that the presence of maltodextrin contributed significantly to reducing the hygroscopicity of the powders. In terms of yield, it was found that higher concentrations of maltodextrin combined with higher temperatures produced higher yields. With regard to color, there was a tendency for greater luminosity with lower temperatures and higher levels of additive agent. It was found that the dried material was lighter than the fresh material, probably due to the addition of maltodextrin. The values found for total acidity, in general, were relatively low, which translates into sweetness for the material. The highest value of ascorbic acid content obtained in the study was 0.32 mg-100 g⁻¹ (b.s.). When high drying air flow rates and low temperatures were adopted, the concentration of phenolics increased. The flavonoid content tended to increase with higher concentrations of maltodextrin. With regard to total carotenoid values, the highest value obtained was 71.21 µg/g in the condition with the lowest maltodextrin concentration. Obtaining papaya waste powder in a spray dryer indicates that it is possible to use it while preserving its bioactive properties.

Keywords: formosa papaya, industrial waste, spray drying, bioactive compounds.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	13
RESUMO	13
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Resíduos agroindustriais de frutas	17
2.1.2 Farinhas de resíduos de frutas	18
2.2 Mamão (<i>Carica papaya L.</i>): produção, características físicas, físico-químicas e nutricionais	19
2.3 Compostos bioativos	21
2.4 Processo de secagem.....	25
2.4.1 Secagem por atomização (spray drying - SD).....	26
2.5 Secagem e caracterização do mamão	27
2.6 Incorporação de subprodutos do mamão na indústria de alimentos	29
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 Obtenção e preparo das amostras	31
3.2 Spray drying	32
3.2.1 Planejamento experimental.....	33
3.3 Caracterização físico-química do resíduo de mamão <i>in natura</i> e seco	37
3.3.1 Umidade	37
3.3.2 Atividade de água.....	37
3.3.3 Higroscopicidade.....	38
3.3.4 Cor instrumental.....	38
3.3.5 Rendimento do processo de spray drying	39

3.3.6	Ácidez titulável total (ATT)	40
3.3.7	Determinação de compostos bioativos.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Caracterização do resíduo de mamão <i>in natura</i>	44
4.2	Caracterização do resíduo de mamão seco por SD.....	47
4.2.1	Rendimento, umidade, atividade de água e higroscopicidade	47
4.2.2	Caracterização de cor instrumental.....	52
4.2.3	Acidez total e Compostos bioativos.....	59
5	CONCLUSÃO.....	67
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Fotografia do Mamão formosa (<i>Carica papaya</i>).....	20
Figura 2.2 - Representação esquemática de secagem por <i>spray drying</i>	27
Figura 3.1 - Resíduos do mamão armazenados em sacos de polipropileno.....	31
Figura 3.2 - Amostra processada de resíduo do mamão.	32
Figura 4.1 - Superfícies de respostas para o rendimento do processo e a higroscopicidade do pó seco em função: (a) e (d), da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina; (b) e (e), da temperatura do ar de secagem e da vazão de ar de secagem; (c) e (f), da temperatura do ar de secagem e da vazão de alimentação.....	51
Figura 4.2 - Superfícies de respostas para o os parametros de cor, L^* , b^* , h^o e ΔE do pó seco em função: (a), (b), (d) e (g), da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina; (c) e (e), da temperatura do ar de secagem e da vazão de ar de secagem; (f) e (h), vazão de alimentação e concentração de maltodextrina e (i) vazão de ar de secagem e concentração de maltodextrina.	57
Figura 4.3 - Superfícies de respostas para os compostos bioativos do pó seco em função: (a), (c) e (f) da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina; (b) e (g) da vazão de alimentação e da vazão de ar de secagem; (e) e (i) , vazão de alimentação e concentração de maltodextrina; (d) e (h) temperatura do ar de secagem e vazão de ar de secagem.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição centesimal das partes do mamão Formosa ($\text{g} \cdot 100 \text{g}^{-1}$).....	20
Tabela 2.2 Frutas, resíduos, compostos funcionais dos subprodutos e bioatividade.	24
Tabela 3.1 - Fatores e níveis do PCCO.	34
Tabela 3.2 - Matriz de planejamento do PCCO.....	35
Tabela 4.1 - Caracterização físico-química do resíduo do mamão <i>in natura</i>	44
Tabela 4.2 - Resultados experimentais de rendimento, umidade, atividade de água e higroscopicidade.	48
Tabela 4.3 - Resultados experimentais de cor instrumental.....	53
Tabela 4.4 - Resultados experimentais para os compostos bioativos estudados	60

1 INTRODUÇÃO

A globalização da indústria de alimentos resultou em um aumento significativo na demanda por alimentos funcionais, agregação de valor e aproveitamento de resíduos industriais (DHUA *et al.*, 2022). Resíduos industriais são materiais provenientes de vários processos do campo agrícola e industrial, gerados na forma sólida, líquida, gasosa ou combinação dessas, e que apresentam características físicas, químicas ou microbiológicas específicas (YAASHIKAA; SENTHIL KUMAR; VARJANI, 2022). Esses resíduos podem ser fontes de nutrientes, e a exploração desses materiais abundantes e baratos pode ser feita pelas indústrias alimentícias, com oportunidades para a criação de novos produtos ou substituição de ingredientes. Assim, além de reduzir os resíduos, os subprodutos obtidos resultam em impactos socioeconômicos e ambientais positivos (DA SILVA *et al.*, 2014; SAINI; PANESAR; BERA, 2019).

A indústria de alimentos, em especial a de processamento de frutas, produz uma grande quantidade de resíduos agroindustriais. Grande parte do material descartado ou subaproveitado pela agroindústria, e que apresenta potencial de aproveitamento como subproduto, vem do processamento de frutas e hortaliças, particularmente da indústria de sucos, incluindo folhas, cascas, bagaço, polpa inutilizada, sementes e frutas sem padrão de comercialização (FERNÁNDEZ *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2022).

O aproveitamento de resíduos como os subprodutos de frutas é uma estratégia promissora a qual vem sendo apresentada por diversos estudos devido à obtenção de compostos bioativos, suas características nutricionais, antioxidantes e suas diversas aplicações (GOMES *et al.*, 2018; MAJERSKA; MICHALSKA; FIGIEL, 2019; SAINI; PANESAR; BERA, 2019; SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2022). As cascas, sementes e bagaço de frutas geralmente contêm mais compostos bioativos (fenólicos, flavonoides, carotenoides, entre outros) do que as partes tradicionalmente consumidas (AGUEDO *et al.*, 2012; BLANCO CANALIS; LEÓN; RIBOTTA, 2019; CHIELLE *et al.*, 2016).

Desta forma, subprodutos oriundos de resíduos de frutas podem ser usados como ingredientes ou matérias-primas potenciais em formulações alimentares, e

aplicados na obtenção de produtos funcionais, disponibilizando compostos bioativos com propriedades antioxidantes (como fenólicos e carotenoides), óleos essenciais, vitaminas, fibras, minerais e agentes antimicrobianos (AGUEDO *et al.*, 2012; AYALA-ZAVALA *et al.*, 2011; MAJERSKA; MICHALSKA; FIGIEL, 2019).

Dentre as frutas utilizadas para o processamento industrial encontra-se o mamão, que se apresenta como uma daquelas de maior perecibilidade. Por ser um fruto climatérico, o mamão continua a atividade fisiológica depois de colhido, possui alta perecibilidade e vida útil reduzida, o que leva a perdas na cadeia produtiva. Essas perdas geralmente são causadas por rupturas do tecido do fruto, liberação de etileno e aumento da respiração e transpiração, o que conseqüentemente, acelera seu amadurecimento e senescência (PARVEN *et al.*, 2020).

Durante o processamento industrial do mamão são retiradas cascas e sementes, e uma grande quantidade (cerca de 50%, em massa, da matéria-prima) de resíduos é gerada, sendo que esse material apresenta possibilidade/potencialidade de ser utilizado como um subproduto, de forma a proporcionar ganhos econômicos e reduzir perdas de material de valor, custos associados a um descarte que atenda a legislação e impactos ambientais. As cascas e sementes representam os principais resíduos sólidos obtidos a partir do mamão, e, neste sentido, agregar valor à essa fração é de grande importância econômica, científica, ambiental e tecnológica (PATHAK; MANDAVGANE; KULKARNI, 2019; SHARMA *et al.*, 2020).

Diante desse cenário, considerando o crescimento da indústria de processamento de frutas, verifica-se uma perspectiva de constantes estudos que busquem exaurir as possibilidades de aproveitamento dos nutrientes presentes nesses materiais, seja como ingredientes, aditivos ou por meio do desenvolvimento de produtos.

Os métodos de secagem, quando aplicados nos resíduos agroindustriais, viabilizam seu aproveitamento, por meio da redução da umidade e da atividade de água, favorecendo uma maior vida útil e sua disponibilização na forma de material particulado ou pó, com potencial em diversas aplicações. Contudo, se faz necessária a investigação de diferentes métodos de secagem e de variáveis de processo, de forma a identificar o método, equipamento e condições que conduzam aos resultados mais satisfatórios no que diz respeito às características físico-químicas, sensoriais e

nutricionais desejadas no produto. Entre esses métodos, a secagem por atomização ou pulverização (spray drying - SD) se destaca por ser um método amplamente utilizado na indústria alimentícia para a obtenção de pós de fina granulometria a partir de uma suspensão líquida, possui a capacidade de transformar uma solução aquosa, emulsão, dispersão ou suspensão em um pó com especificações controladas, como umidade, tamanho de partículas, morfologia, densidade e estabilidade físico-química, tudo isso em uma operação contínua e relativamente econômica.

1.1 Objetivos

Este estudo teve como objetivo geral secar e otimizar o processo de secagem do resíduo de mamão (cascas e sementes) gerado durante o processamento industrial da fruta, por meio da aplicação de secagem em *spray dryer* e analisar as características desse resíduo antes e após o processo.

Como objetivos específicos tem-se:

- Analisar o efeito das variáveis de processo (temperatura do ar de secagem, vazão de alimentação da solução no secador, vazão do ar de secagem e concentração de maltodextrina) nas características do material seco obtido, buscando encontrar as melhores condições operacionais que garantam as propriedades satisfatórias e desejadas para o resíduo do mamão seco;
- Caracterizar e avaliar o produto seco comparativamente ao *in natura* (quando aplicável) quanto à umidade, atividade de água, higroscopicidade, cor instrumental, rendimento, acidez titulável, teor de ácido ascórbico, compostos fenólicos, flavonoides e carotenoides totais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos agroindustriais de frutas

O processamento de frutas e vegetais produz um número significativo de resíduos que constituem cerca de 25% a 30% de seu montante total. A geração de resíduos pelas indústrias alimentícias resulta em uma grande quantidade de materiais com potencial para alimentação, sendo considerado um desafio global de todos os pontos de vista e representa o uso ineficiente dos recursos naturais (CALDEIRA *et al.*, 2019). Cerca de 22% das perdas e desperdícios de alimentos ao longo da cadeia de abastecimento correspondem às frutas e legumes (SANTOS *et al.*, 2022).

Os resíduos agroindustriais gerados na forma de subprodutos são fontes de compostos com propriedades antioxidantes, como carotenoides e polifenóis. Além disso, os compostos podem ser incorporados como produtos nutracêuticos ou em alimentos para aumentar sua funcionalidade (AMAYA-CRUZ *et al.*, 2015; SANTOS FELIX *et al.*, 2018; VALENCIA-HERNANDEZ *et al.*, 2021).

É de extrema importância o desenvolvimento de técnicas e processos que visem aproveitar melhor as matérias-primas e resíduos gerados, visto que esses materiais influenciam diretamente no impacto ambiental causado pela agroindústria. O aproveitamento dos resíduos gerados por meio do processamento de frutas como cascas e sementes pode ser uma alternativa promissora, pois estes materiais podem ser usados como substitutos naturais de aditivos sintéticos, como ingredientes alimentares funcionais ou novos produtos farmacêuticos, fornecendo compostos com propriedades funcionais, além da redução dos impactos ambientais causados (DE OLIVEIRA *et al.*, 2020; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, 2019).

A casca do mamão não aproveitada e descartada pela indústria de alimentos representa cerca de 12% do peso total do fruto (MADA *et al.*, 2022). Apresenta fontes de vitaminas, minerais, polifenóis, flavonoides, fibras, carboidratos, proteínas, ácidos graxos e taninos (FENG *et al.*, 2022; SHARMA *et al.*, 2020).

As sementes do mamão possuem diversas propriedades funcionais e nutricionais (32,5% de carboidratos, 24,3% de proteínas e 25,3% lipídios), são fontes de substâncias antioxidantes as quais têm sido correlacionadas aos metabólitos

secundários como flavonoides, carotenoides e compostos fenólicos. O óleo extraído das sementes é composto principalmente por ácido graxo oleico, seguido por ácidos palmítico, linoléico e esteárico.

Os estudos sobre o aproveitamento de resíduos agroindustriais vêm crescendo desde o início da década de 1970. A utilização econômica de resíduos de frutos oriundos do mercado *in natura* ou das agroindústrias, aliada ao desenvolvimento de novas tecnologias para minimizar as perdas nos processos produtivos, podem contribuir de forma significativa para a economia do país e a diminuição dos impactos ambientais (GONÇALVES RODRIGUES *et al.*, 2019; PIOVESANA; BUENO; KLAJN, 2013).

Embora a redução de resíduos na origem e a reciclagem tenham demonstrado resultados promissores, é de suma importância dar maior atenção às avaliações econômicas e aos impactos ambientais, sendo necessário encontrar métodos viáveis para utilizar eficazmente os resíduos de frutas e vegetais na geração de produtos de valor agregado que sejam mais ecológicos, econômicos e sustentáveis (GANESH; SRIDHAR; VISHALI, 2022) A utilização de resíduos como matéria-prima para desenvolver produtos com valor agregado abriu novas perspectivas para promover a sustentabilidade ambiental (SUNDARAM *et al.*, 2024).

2.1.2 Farinhas de resíduos de frutas

As farinhas de subprodutos de frutas apresentam importantes funcionalidades bioativas e tecnológicas, atuando como espessantes, gelificantes, enchimentos e agentes retentores de água, bem como na produção de filmes comestíveis (FÖSTE *et al.*, 2020; SANTOS; LOPES DA SILVA; PINTADO, 2022).

Essas farinhas obtidas a partir de subprodutos de frutas apresentam diversas funções aos serem adicionadas à diversos produtos alimentícios, como a melhora do valor nutricional e das propriedades desses alimentos. Além disso, as fibras alimentares presentes podem atuar na influência das propriedades de hidratação, solubilidade e viscosidade dos alimentos. Na saúde humana, podem atuar na retardação da absorção de glicose, diminuição do colesterol total e LDL, estimulação da fermentação intestinal entre outras (RESENDE; FRANCA; OLIVEIRA, 2019).

Oliveira *et al.* (2021) estudaram a produção e caracterização da farinha da casca da banana, e os achados demonstraram o potencial da casca como fonte de farinha funcional rica em fibras, potássio e compostos bioativos. A farinha pode ser utilizada na produção de diversos produtos alimentícios, como pães, bolos e biscoitos, agregando valor nutricional e funcional aos produtos. Gustafsson *et al.* (2019) desenvolveram e avaliaram filmes de base biológica de bagaço de maçã, sendo os materiais desenvolvidos com grande potencialidade para serem utilizados como embalagens comestíveis.

O pó obtido pelo processo de secagem por aspersão de extrato de citrulina (composto bioativo na casca da melancia) mostrou boa estabilidade de armazenamento, podendo ser incorporado em alimentos como aditivos funcionais (DURAN BARÓN *et al.*, 2021).

2.2 Mamão (*Carica papaya L.*): produção, características físicas, físico-químicas e nutricionais

O mamão é uma fruta tropical popular que pertence à família *Caricaceae*. Sua produção principal concentra-se em regiões tropicais e subtropicais, sendo Brasil, México, Nigéria e Índia os principais produtores mundiais.

Considerado um alimento nutritivo devido ao teor de vitaminas A, B, C e E, de minerais (cálcio e potássio), fibras dietéticas, compostos bioativos como compostos fenólicos e carotenoides (PATRA; ABDULLAH; PRADHAN, 2022). As sementes contêm uma variedade de compostos fenólicos, como isotiocianato de benzila, glucosinolatos, tocoferóis (α e δ), além de carotenoides, como β -criptoxantina e β -caroteno (DOTTO; ABIHUDI, 2021).

O mamão formosa (*Carica papaya L.*) (Figura 2.1) é um fruto climatérico que apresenta formato alongado e diversos tamanhos, com casca fina de cor verde amarelada, enquanto a sua polpa é firme, variando entre amarela e vermelha.

Figura 2.1- Fotografia do Mamão formosa (*Carica papaya*)

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Na Tabela 2.1 está apresentada a composição centesimal das partes do mamão formosa.

Tabela 2.1 – Composição centesimal das partes do mamão Formosa (g·100 g⁻¹).

Produtos	Umidade	Fração de cinzas	Proteína Bruta	Extrato Etéreo	Fibra Bruta	Carboidratos	Calorias (Kcal·100g g ⁻¹)
Polpa	89,68	0,39	0,33	0,02	8,83	0,74	4,49
Casca	90,85	0,84	1,56	0,09	8,41	1,76	14,07
Polpa aderida a casca	97,85	0,10	0,32	0,06	9,44	7,77	32,87
Sementes	8,13	7,12	23,27	5,52	52,90	3,05	155,01

Fonte: (LIMA et al., 2018).

Devido às mais diversas propriedades e à aceitabilidade, o consumo e a disponibilidade de produtos derivados do mamão têm crescido, tanto na indústria alimentícia quanto na indústria cosmética. Portanto, há uma quantidade importante de resíduos com grande potencial a ser explorado vindos de casca, polpa e sementes. O aproveitamento de fibras dietéticas pode ser uma opção para propiciar aplicação a esses materiais, ao mesmo tempo em que pode gerar ingredientes e produtos inovadores para as indústrias de alimentos e ingredientes (NIETO CALVACHE *et al.*, 2016).

A casca do mamão não aproveitada e descartada pela indústria de alimentos representa cerca de 12% do peso total do fruto (MADA *et al.*, 2022). Apesar disso, apresenta fontes de vitaminas, minerais, polifenóis, flavonoides, fibras, carboidratos, proteínas, ácidos graxos e taninos (FENG *et al.*, 2022; SHARMA *et al.*, 2020).

As sementes de mamão são resíduos da indústria processadora, e o aproveitamento desses resíduos pode ser utilizado para produzir óleo vegetal de alta qualidade, rico em nutrientes e compostos bioativos, além de contribuir para a redução do descarte de resíduos no meio ambiente. O óleo das sementes é rico em ácido oleico, tornando-se uma alternativa saudável a outros óleos vegetais convencionalmente utilizados na culinária (ANWAR *et al.*, 2019; HASAN *et al.*, 2019).

Diversos estudos destacam as propriedades nutracêuticas do mamão, atribuindo-as não apenas ao seu conteúdo de vitaminas, mas também à presença de compostos bioativos que reduzem marcadores inflamatórios, agregação plaquetária, e possuem efeitos antitrombóticos e hipolipemiantes, além de diminuir o estresse oxidativo (SANTANA *et al.*, 2019).

Os nutrientes encontrados no mamão apresentam efeitos benéficos no sistema cardiovascular, protegendo contra doenças cardiovasculares e danos causados por radicais livres. Além disso, há relatos de que podem auxiliar no tratamento do diabetes mellitus e na redução dos níveis de colesterol. Tanto a polpa quanto outras partes da planta, como as folhas e sementes, apresentam propriedades antioxidantes, anti-hipertensivas, hipoglicemiantes e hipolipemiantes, potencialmente contribuindo para a prevenção e tratamento da obesidade e distúrbios metabólicos associados (DOTTO; ABIHUDI, 2021).

2.3 Compostos bioativos

Os compostos bioativos são substâncias encontradas principalmente em plantas e pertencem a um grupo variado de metabólitos secundários. Na saúde humana esses compostos desempenham, por meio de suas propriedades biológicas (antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória, anticancerígena, entre outras), ação na proteção contra os estresses oxidativos que podem causar danos como alterações

no DNA, envelhecimento precoce, doenças cardiovasculares, degenerativas e neurológicas (BANWO *et al.*, 2021).

Os compostos bioativos presentes em resíduos de frutas podem ser aproveitados através de diversos métodos de extração, agregando valor ao desenvolvimento de alimentos funcionais (SAINI; PANESAR; BERA, 2019). Os principais compostos presentes nos resíduos de frutas são o ácido ascórbico, os compostos fenólicos, flavonoides e carotenoides, e embora o consumo seja geralmente de frutas frescas, esses compostos bioativos estão presentes em seus resíduos, isto é, nas sementes, cascas, entre outros (BIESALSKI *et al.*, 2009; DUBEY *et al.*, 2020b; SAGAR *et al.*, 2018; SAINI; PANESAR; BERA, 2019).

Os compostos fenólicos são considerados compostos bioativos não essenciais, constituídos por mais de 8000 compostos diferentes, secundários das plantas, com diferentes estruturas químicas e atividades. A distribuição dos compostos fenólicos nos tecidos e células vegetais varia consideravelmente de acordo com o tipo de composto químico, situando-se no interior das células e na parede celular (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021). Eles agem contra estresse oxidativo, combatem radicais livres, geralmente na forma de flavonoides, ácidos fenólicos e taninos (TRIGO *et al.*, 2020). Da mesma forma, as vitaminas e minerais encontrados nesses materiais agem prevenindo a oxidação lipídica, diminuindo os danos ao DNA, além serem responsáveis por conferir função de imunidade (PATRA; ABDULLAH; PRADHAN, 2022).

Os flavonoides constituem o mais importante e diversificado grupo dentro dos compostos fenólicos. Encontrados em frutas e vegetais, desempenham ações e atividades benéficas à saúde (KOPUSTINSKIENE *et al.*, 2020).

Os carotenoides são considerados pigmentos com propriedades lipofílicas encontrados em plantas, algas, microrganismos e em alguns animais e são responsáveis por conferir coloração amarelada ao vermelho em frutas vegetais, fungos e flores (LUIZA KOOP *et al.*, 2022a; NETLAK *et al.*, 2023; ROLL ZIMMER; BARBOZA MENDONÇA; ZAMBIAZI, 2022). Os benefícios dos carotenoides incluem principalmente a atividade pró-vitáminica A, além da redução do risco de doenças degenerativas, doenças cardiovasculares, alguns tipos de cânceres, entre outras (RODRIGUEZ-CONCEPCION *et al.*, 2018).

Os carotenoides provenientes de resíduos e subprodutos de frutas são fontes de alto potencial bioativo. O teor e composição química desses compostos devem ser avaliados, explorados e utilizados em indústrias de alimentos, principalmente na forma de corantes. Além disso, esses carotenoides estão entre os aditivos alimentares considerados saudáveis e naturais procurados pela indústria de alimentos, a fim de atender o interesse e a procura dos consumidores (FERNÁNDEZ *et al.*, 2018).

O ácido ascórbico, comumente conhecido por vitamina C, é uma vitamina hidrossolúvel e termolábil, além de um importante antioxidante encontrado nas plantas. Está significativamente relacionado à saúde humana como cofator para enzimas e outros componentes bioativos para exercer indiretamente atividades biológicas e propriedades antioxidantes. Porém, pode ser rapidamente oxidado quando exposto ao ar comparado a outros nutrientes, sendo essa vitamina mais sensível à degradação durante o processamento e subsequente armazenamento (ZHENG *et al.*, 2022).

Vários estudos incluem a ação dos compostos bioativos na saúde humana, como atividades antioxidante, anticancerígena, cardioprotetora, antidiabética, anti-inflamatória, antialérgicas e antiviral (FALLAH; SARMAST; JAFARI, 2020; GONÇALVES RODRIGUES *et al.*, 2019; PRITHVIRAJ KARAK, 2019).

Na literatura são diversos os trabalhos que estudaram os compostos funcionais de resíduos de frutas. Alguns deles apresentam-se compilados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Frutas, resíduos, compostos funcionais dos subprodutos e bioatividade.

Fruta	Resíduos	Compostos funcionais	Bioatividade	Referência
Abacaxi	cascas, coroa	vitamina C, A e E, fenólicos, flavonoides, carotenoides, ácidos graxos e hemiceluloses.	antioxidante	(BANERJEE <i>et al.</i> , 2018; RODA; LAMBRI, 2019).
Abacate	cascas, sementes	flavonoides (catequina, epicatequina e procianidina), amido, óleo, lipídios, proteínas, fibras brutas, antioxidantes, vitaminas e minerais.	anti-inflamatório, e antioxidante	(BAHRU; TADELE; AJEBE, 2019; FIGUEROA <i>et al.</i> , 2021; TREMOCOLDI <i>et al.</i> , 2018).
Acerola	bagaço	polifenóis, vitamina C, carotenoides, antocianinas, fenólicos, flavonoides.	antioxidante, antidiabético, anti-obesidade	(CARMO; NAZARENO; RUFINO, 2018; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2017).
Goiaba	cascas, sementes	polifenóis, flavonoides, taninos, antocianinas, vitaminas e minerais, polissacarídeos, proteínas, lipídios, vitaminas, minerais, compostos fenólicos e carotenoides.	antioxidante e neuro protetora	(ANGULO LÓPEZ <i>et al.</i> (2021); CALIN-SÁNCHEZ <i>et al.</i> (2020); KUMAR <i>et al.</i> (2022).
Maçã	bagaço	proteínas, amido, fibra solúvel, pectina, polifenóis, potássio, cálcio e fósforo.	antioxidante, antidiabético, anti-obesidade	(GORJANOVIĆ <i>et al.</i> , 2020; LIU <i>et al.</i> , 2021)
Manga	cascas	rica em macronutrientes e micronutrientes, incluindo cálcio, potássio, magnésio, fósforo e vitaminas A, E, K e C.	antioxidante	(AJILA; LEELAVATHI; PRASADA RAO, 2008; TORRES-LEÓN <i>et al.</i> , 2018).
Mamão	semente do mamão	fibras, proteínas, cinzas, flavonoides e carotenoides.	antioxidante	(GONÇALVES RODRIGUES <i>et al.</i> , 2019).
Melão	cascas	minerais (potássio, sódio, magnésio, cálcio) e compostos fenólicos e carotenoides (licopeno e β -caroteno).	antioxidante	(GÓMEZ-GARCÍA <i>et al.</i> , 2020; ROLIM; SEABRA; DE MACEDO, 2020).
Melancia	cascas e sementes	compostos fenólicos, fibras, ácidos graxos, minerais, carotenoides e vitaminas complexos b.	antioxidante e anti-hipertensivo	(DURAN BARÓN <i>et al.</i> , 2021; ZIA <i>et al.</i> , 2021)
Uva	bagaço e sementes	polifenóis, flavonoides, taninos, antocianinas.	anti-colesterol, antioxidantes e antimicrobianas	(FERRI <i>et al.</i> , 2016); (ANDRADE <i>et al.</i> , 2019).

Os subprodutos de frutas são uma excelente fonte de compostos bioativos, como compostos fenólicos (ácido fenólico, carotenoides, flavonoides), proteínas bioativas (isolado de peptídeo, aminoácidos), ácidos graxos, fibras as sementes de frutas são uma boa fonte de óleos essenciais, fitoquímicos e fitoesteróis. Da mesma forma, as cascas contêm pectina, fibras valiosas e minerais (MENA-GARCIA *et al.* 2019). Esses compostos bioativos podem ser extraídos dos subprodutos usando

diferentes tecnologias e podem ser utilizados para desenvolver vários produtos valorizados, incluindo alimentos funcionais ou suplementos alimentares.

Os compostos bioativos devido à sua forte atividade antioxidante e antimicrobiana, oferecem proteção contra doenças crônicas, inibindo a produção de substâncias químicas cancerígenas e regulando o sistema imunológico. Esses compostos são valiosos como aditivos em alimentos funcionais ou suplementos alimentares. (PATRA *et al.*, 2022).

Os resíduos de frutas podem ser usados como ingredientes funcionais na preparação de alimentos, disponibilizando compostos bioativos (como fenólicos e carotenoides), vitaminas, minerais e fibras (FERRI *et al.*, 2016; RODA; LAMBRI, 2019). As sementes que compõem a parte não comestível do processamento de frutas oferecem valor agregado e financeiro ainda pouco explorado, sendo que a produção de óleos dessas sementes pode apresentar aplicações na indústria de alimentos e cosméticos (KUMAR *et al.*, 2022).

Embalagens de alimentos podem ser obtidas a partir de resíduos de frutas, proporcionando aumento da atividade antioxidante, antimicrobiana, melhores qualidades mecânicas, assim como melhor qualidade de proteção de produtos alimentícios (BAYRAM *et al.*, 2021). É possível também o aproveitamento de resíduos gerados após o processamento de sucos, por meio de sua utilização como substrato para a produção de enzimas (NIGHOJKAR *et al.*, 2006).

2.4 Processo de secagem

A preservação de alimentos através da secagem, um dos métodos mais antigos na conservação de alimentos, visa reduzir umidade e a atividade de água e estender a vida útil dos alimentos. Esse processo envolve o uso de calor controlado para evaporar a água presente nos produtos, criando condições desfavoráveis ao crescimento microbiano de microrganismos e atividade enzimática enzimas (LLAVATA *et al.*, 2020).

Especialmente para frutas e vegetais frescos, cuja qualidade se deteriora rapidamente devido ao alto teor de água, a secagem é oportuna. Além disso, dado o curto período de colheita de muitos alimentos, um método eficaz de secagem é

essencial para preservar uma quantidade significativa deles e sua oferta no período entressafra. A remoção da umidade não apenas impede o crescimento de microrganismos, mas também reduz o peso do produto, diminuindo o espaço necessário para embalagem e economizando custos no transporte e armazenamento (PANDISELVAM *et al.*, 2023).

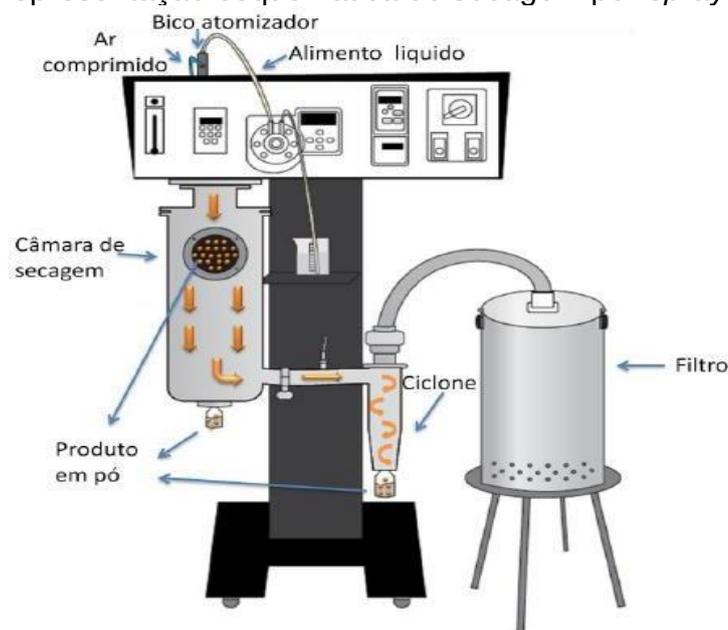
2.4.1 Secagem por atomização (spray drying - SD)

A secagem por atomização (ou por pulverização) é um dos métodos mais utilizados para a secagem de alimentos na forma de suspensões bem diluídas (ou sucos) contendo partículas de granulometria fina. No *spray dryer*, gotículas de fluido são atomizadas (usando ar comprimido) em um meio convectivo quente e, então, instantaneamente, a água evapora, de forma que o pó seco fino obtido é separado do ar quente por meio de um ciclone (FURUTA; NEOH, 2021).

O processo consiste na atomização da alimentação líquida por meio de um bico. Assim, o líquido subdivide-se em gotas muito pequenas no interior da câmara, onde elas entram em contato com ar quente, com subsequente evaporação do solvente (via de regra água) em uma câmara de secagem controlada em termos de temperatura e umidade relativa. A evaporação da água das gotas é praticamente instantânea e cada uma delas se transforma em uma partícula seca que é transportada pelo ar de secagem. Em seguida, na saída da câmara, as partículas secas são separadas da corrente de ar na qual estão suspensas, sendo, então, coletadas em um recipiente coletor (FURUTA; NEOH, 2021; JAYAPRAKASH *et al.*, 2023).

Na Figura 2.2 encontra-se uma representação esquemática da unidade de secagem com *spray-dryer*.

Figura 2.2 - Representação esquemática de secagem por *spray drying*.



Fonte: Ribeiro (2014).

No processo de secagem por *spray-drying* torna-se muitas vezes necessário o uso de materiais de parede, e os mais populares são os convencionais que contêm polissacarídeos, como maltodextrina e outros derivados de amido. Esses materiais possuem a capacidade de proteger os fitoquímicos encapsulados e melhorar sua biodisponibilidade, além da segurança nas aplicações farmacêuticas e alimentares (SAMBORSKA *et al.*, 2021).

A maltodextrina é um carboidrato resultante da hidrólise parcial do amido por meio de ação enzimática ou ácidos. Na forma de pó, possui cor branca, baixa densidade, é solúvel em água, possui baixa viscosidade em altas concentrações, baixo custo e não possui propriedades emulsificantes. Além disso, durante os processos de secagem por pulverização, melhora a higroscopicidade, a temperatura de transição vítrea e a eficiência do processo (XIAO *et al.*, 2022).

2.5 Secagem e caracterização do mamão

Na literatura foram encontrados estudos sobre a secagem do mamão por diferentes métodos. Chielle *et al.* (2016) realizaram a secagem convectiva de sementes de mamão com objetivo de otimizar o rendimento de óleo das sementes. Estas foram secas em diferentes condições para obtenção do óleo, sendo

as melhores condições de secagem com a temperatura do ar de 70°C e velocidade do ar de 2,0 m·s⁻¹. O rendimento de óleo das sementes foi de 19,23%, e apresentou como resultado 90% de ácido oleico e 5% de ácido linoléico.

A secagem do mamão foi realizada em um estudo por Vieira da Silva Júnior et al. (2018). A secagem foi realizada a 60°C e foram utilizadas quatro técnicas: secagem assistida por ultrassom e vácuo (secagem a vácuo secagem assistida por ultrassom e secagem controle (sem ultrassom e vácuo). As amostras secas com auxílio de ultrassom e vácuo apresentaram menor perda de ácido ascórbico (41,3%), e o tratamento ultrassônico acelerou o processo de secagem a vácuo do mamão e minimizou a perda dos compostos bioativos estudados e da cor dos produtos.

Veja-Gálvez *et al.* (2019) realizaram a caracterização química e bioativa do mamão seco obtido por diferentes tecnologias de secagem e avaliaram o potencial antioxidante. Foram utilizadas cinco técnicas: liofilização, secagem a vácuo, secagem solar (secagem convectiva e secagem por infravermelho. As amostras secas a vácuo apresentaram a menor perda de compostos fenólicos e maior capacidade antioxidante, enquanto as amostras secas por infravermelho e por secagem convectiva apresentaram menor perda de flavonoides totais (42%) e β-caroteno (32%) após o processamento, respectivamente.

Minuye et al. (2021) avaliaram a retenção de nutrientes e compostos bioativos do mamão (*Carica papaya L*) com/sem pré-tratamento com ácido ascórbico e secagem sob diferentes técnicas. Os frutos de mamão foram secos por secagem solar, secagem em refractance window, secagem em estufa e liofilização. Os maiores valores de compostos bioativos (fenólicos, flavonoides, carotenoides totais e β-caroteno) foram encontrados em amostras de mamão liofilizadas, seguidas por refractance window e secagem solar. O pré-tratamento com ácido ascórbico aumentou a retenção de carotenoides totais, β-caroteno, fenólicos e flavonoides para todos os métodos de secagem.

Akter et al. (2022) analisaram a otimização das condições de processo para determinação do teor de fenólicos totais de fatias de mamão secas em estufa. O tempo de secagem de 10 h, a temperatura de 62°C, a espessura de 9,75 mm e o estágio maduro foram consideradas as condições ideais de secagem, para determinação do teor de fenólicos totais. Foi verificado que a temperatura teve efeito

significativo na quantidade de fenólicos totais. Os resultados mostraram que em todos os estágios do mamão, os maiores níveis de fenólicos totais foram relatados em temperaturas entre 60°C e 70°C.

2.6 Incorporação de subprodutos do mamão na indústria de alimentos

As indústrias de produtos alimentares estão voltadas ao desenvolvimento de produtos funcionais com benefícios para à saúde humana, e conseqüentemente reduzindo uso de aditivos alimentares artificiais usados nos processos convencionais (FAUSTINO *et al.*, 2019).

Os bagaços de frutas e vegetais, devido seu alto potencial nutritivo podem desempenhar funções no melhoramento de alimentos como a substituição de aditivos artificiais e enriquecimento desses alimentos com substâncias biológicas, ativas e nutritivas (MAJERSKA; MICHALSKA; FIGIEL, 2019). Esses subprodutos de frutas ricos em compostos ativos podem ser aplicados diretamente ou indiretamente ao alimento, fornecendo melhores propriedades nutricionais e sensoriais (ANDRADE *et al.*, 2019).

Nieto Cavalche et al (2016), analisaram subprodutos de mamão (polpa e casca) para a produção de fibras dietéticas por meio de tratamento com etanol e secagem em micro-ondas. Os resultados mostraram capacidade antioxidante da fibra e sua propriedade funcional para aplicação na indústria de alimentos pode auxiliar na prevenção da oxidação de lipídios, atendendo a demanda de produtos com benefícios à saúde humana.

Um estudo avaliou o uso de subproduto de mamão em pó não maduro incorporado à fabricação de panquecas, e os achados sugeriram que comparado a farinha de trigo, houve diminuição da liberação da glicose com aumento no percentual de amido indigesto, tornando o produto um alimento funcional favorável (JOYMAK *et al.*, 2021).

Sementes de mamão moídas tratadas com ácido acético e bicarbonato de sódio e sementes não tratadas foram misturadas à farinha de milho, e os resultados mostraram que a semente do mamão moída tratada foi responsável por melhorar os compostos bioativos, e a semente de mamão não tratada por melhorar as

propriedades reológicas do produto resultante da mistura (o mingau de fubá). Os compostos fenólicos presentes nas duas frações melhoram significativamente a atividade antioxidante da mistura, assim como as propriedades funcionais do mingau de fubá (ÁVILA *et al.*, 2020).

A influência da pectina mista da casca de mamão foi avaliada na composição química de estabilidade de armazenamento do iogurte. Os resultados revelaram que a pectina melhorou as propriedades sensoriais e aceitação geral do iogurte. Além disso, verificou-se que a carga microbiana (contagem total de placas) aumentou com o aumento da quantidade de pectina (MADA *et al.*, 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 Obtenção e preparo das amostras

As amostras de mamões formosa foram gentilmente cedidas pela Empresa Agrisan, produtora de mamão situada no município de Lagoa Grande – MG, onde atualmente, os frutos sem padrão de comercialização são considerados um resíduo, sendo de interesse socioeconômico e ambiental agregar valor com aproveitamento na indústria alimentícia.

Após serem transportados até os laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas, os frutos foram despulpados manualmente e as partes (casca, restos de polpa aderidos à casca e sementes), foram embaladas a vácuo, em embalagens de propileno de 1 kg (Figura 3.1), e, então, após serem envoltos em papel alumínio, foram estocados em ultra freezer (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) sob temperatura de -60°C.

Figura 3.1 - Resíduos do mamão armazenados em sacos de polipropileno.



Fonte: Arquivo pessoal.

Em todas as análises e procedimentos realizados, os resíduos do mamão foram descongelados em temperatura de refrigeração, entre 6 e 10°C, em geladeira de uso doméstico (Marca Consul, Brasil) durante 24 h, sendo submetidas ao descongelamento somente amostras nas quantidades necessárias para se realizar cada experimento.

Antes dos experimentos de secagem em *spray dryer*, a amostra foi submetida a uma operação de redução de tamanho. Uma solução foi preparada adicionando 180

mL de água para cada 90 g de resíduo do mamão (Figura 3.2). Em seguida, o conteúdo foi processado em liquidificador industrial, separado em peneira de 20 *mesh* ASTM, e foi feita a adição de material de parede (maltodextrina) em quantidade de acordo com o planejamento experimental conforme a figura (3.3). Esse procedimento foi padronizado de acordo com testes preliminares.

Figura 3.2 - Amostra processada de resíduo do mamão.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 3.3 - Amostra processada resíduo do mamão com adição de maltodextrina.



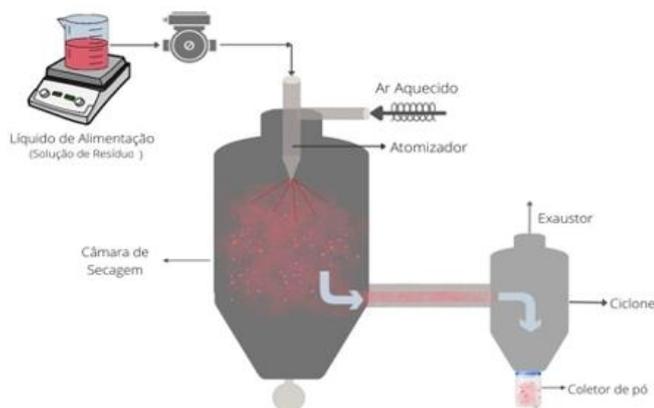
Fonte: Arquivo pessoal.

3.2 Spray drying

O processo de secagem por atomização (*spray-drying* - SD) do resíduo de mamão, em modo batelada, foi realizado em secador (Marca LABMAQ, modelo LM MSD 1.0 Brasil), instalado em laboratório da Faculdade de Engenharia Química da

Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas. Na Figura 3.4 é apresentado um esquema do aparato experimental de secagem por atomização.

Figura 3.4 - Unidade de *spray drying*.



Fonte: A autora.

3.2.1 Planejamento experimental

Para execução dos experimentos de secagem por atomização (*spray drying*) do resíduo de mamão foi realizado um planejamento experimental do tipo Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO) com quatro réplicas no ponto central, com o objetivo de estimar os efeitos de fatores investigados no processo, isto é, temperatura do ar de secagem, vazão de ar de secagem, vazão de alimentação e concentração de maltodextrina, sobre as variáveis resposta, a saber: umidade, atividade de água, higroscopicidade, cor instrumental (parâmetros L , a^* , b^* , ΔE , C^* e h^a), acidez titulável total e teor de compostos bioativos (ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides e carotenoides totais).

Na Tabela 3.1 são apresentados os fatores e os níveis avaliados para o planejamento composto central estudado. Na Tabela 4.2 é apresentada a matriz de planejamento do PCCO executado, sendo que o nível axial ($\pm\alpha$) tem valor igual a $\pm 1,607$.

Tabela 3.1 - Fatores e níveis do PCCO.

Fator	Nível				
	- α	-1	0	+1	+ α
Temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) (X_1)	97,41	105	117,5	130	137,59
Vazão de ar de secagem (m^3/min) (X_2)	1,54	1,6	1,7	1,8	1,86
Vazão de alimentação (L/h) (X_3)	0,28	0,4	0,6	0,8	0,92
Concentração de maltodextrina (%) (X_4)	0,45	5	12,5	20	24,55

Fonte: A autora (2023).

Os resultados experimentais de caracterização do resíduo de mamão seco foram analisados estatisticamente por regressão múltipla a um nível de significância de 10% ($p \leq 0,10$) na estimativa dos coeficientes do modelo. A determinação dos efeitos/coeficientes significativos da regressão foi realizada por meio de um teste de hipóteses utilizando um teste t de *Student*. Os coeficientes da equação de regressão foram obtidos pelo método de mínimos quadrados. A avaliação da correlação foi feita estatisticamente por meio do coeficiente de determinação (R^2) com teste de hipóteses usando a distribuição *F-Fisher* com um nível de significância de 1%, e pela análise dos resíduos. A análise estatística realizada permitiu quantificar os efeitos relacionados a cada variável independente nas variáveis respostas analisadas. Foram calculados os coeficientes do modelo empírico polinomial relacionados às variáveis independentes de forma isolada (com efeitos principais), os termos de interação entre as variáveis e os coeficientes referentes aos termos quadráticos (sendo que o valor do efeito é o dobro do valor do coeficiente estimado). Então, a partir das regressões múltiplas para o PCCO foram obtidas equações empíricas (superfícies de respostas) para melhor visualizar o efeito das variáveis nas respostas. Os resíduos das regressões foram distribuídos de forma independente e aleatória de acordo com uma distribuição normal com média zero e variância constante.

As variáveis independentes avaliadas foram adimensionalizadas, conforme mostrado nas Equações de 3.1 a 3.2. Estas variáveis são X_1 para temperatura (T) ($^{\circ}\text{C}$), X_2 para vazão de ar de secagem (V) (m^3/min), X_3 para vazão de alimentação (F) (L/h) e X_4 para concentração de maltodextrina (C) (%).

Tabela 3.2 - Matriz de planejamento do PCCO.

Exp.	Temperatura	Vazão de ar de	Vazão de	Concentração
	(°C) (X ₁)	secagem (m ³ /min) (X ₂)	alimentação (L/h) (X ₃)	de maltodextrina (%) (X ₄)
1	105 (-1)	1,6 (-1)	0,40 (-1)	5,0 (-1)
2	105 (-1)	1,6 (-1)	0,40 (-1)	20,0 (+1)
3	105 (-1)	1,6 (-1)	0,80 (+1)	5,0 (-1)
4	105 (-1)	1,6 (-1)	0,80 (+1)	20,0 (+1)
5	105 (-1)	1,8 (+1)	0,40 (-1)	5,0 (-1)
6	105 (-1)	1,8 (+1)	0,40 (-1)	20,0 (+1)
7	105 (-1)	1,8 (+1)	0,80 (+1)	5,0 (-1)
8	105 (-1)	1,8 (+1)	0,80 (+1)	20,0 (+1)
9	130 (+1)	1,6 (-1)	0,40 (-1)	5,0 (-1)
10	130 (+1)	1,6 (-1)	0,40 (-1)	20,0 (+1)
11	130 (+1)	1,6 (-1)	0,80 (+1)	5,0 (-1)
12	130 (+1)	1,6 (-1)	0,80 (+1)	20,0 (+1)
13	130 (+1)	1,8 (+1)	0,40 (-1)	5,0 (-1)
14	130 (+1)	1,8 (+1)	0,40 (-1)	20,0 (+1)
15	130 (+1)	1,8 (+1)	0,80 (+1)	5,0,0 (-1)
16	130 (+1)	1,8 (+1)	0,80 (+1)	20,0,0 (+1)
17	97,41 (-1,607)	1,7 (0)	0,6 (0)	12,5 (0)
18	137,59 (+1,607)	1,7 (0)	0,6 (0)	12,5 (0)
19	117,5 (0)	1,54 (-1,607)	0,6 (0)	12,5 (0)
20	117,5 (0)	1,86 (+1,607)	0,6 (0)	12,5 (0)
21	117,5 (0)	1,7 (0)	0,28 (-1,607)	12,5 (0)
22	117,5 (0)	1,7 (0)	0,92 (+1,607)	12,5 (0)
23	117,5 (0)	1,7 (0)	0,6 (0)	0,45 (-1,607)
24	117,5 (0)	1,7 (0)	0,6 (0)	24,55 (+1,607)
25	117,5 (0)	1,7 (0)	0,6 (0)	12,5 (0)
26	117,5 (0)	1,7 (0)	0,6 (0)	12,5 (0)
27	117,5 (0)	1,7 (0)	0,6 (0)	12,5 (0)
28	117,5 (0)	1,7 (0)	0,6 (0)	12,5 (0)

Fonte: A autora (2023).

$$X_1 = \frac{T[^\circ\text{C}] - 117,5}{12,5} \quad (3.1)$$

$$X_2 = \frac{V[m^3 / \text{min}] - 1,7}{0,1} \quad (3.2)$$

$$X_3 = \frac{F[L/h] - 0,6}{0,2} \quad (3.3)$$

$$X_4 = \frac{C[\%] - 12,5}{7,5} \quad (3.4)$$

A partir dos experimentos realizados de acordo com a metodologia de planejamento fatorial de experimentos (BOX *et al.*, 2005) foi possível obter equações empíricas para representar as respostas em função dos fatores investigados. As Equações 3.5 e 3.6 apresentam a forma da superfície ajustada da resposta estudada (\hat{y}) em função das variáveis de interesse por meio da metodologia de superfície de resposta (MYERS, 1976) bem como sua representação matricial em função das variáveis independentes.

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{jj} x_j^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} x_i x_j \quad i < j \quad (3.5)$$

$$\hat{y} = b_0 + \underset{\sim}{x}' \underset{\sim}{b} + \underset{\sim}{x}' \underset{\sim}{B} \underset{\sim}{x} \quad (3.6)$$

Em que:

$$\underset{\sim}{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ \cdot \\ x_k \end{pmatrix} \quad \underset{\sim}{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_k \end{pmatrix} \quad \underset{\sim}{B} = \begin{pmatrix} b_{11} & \frac{b_{12}}{2} & \dots & \frac{b_{1k}}{2} \\ \frac{b_{21}}{2} & b_{22} & \dots & \frac{b_{2k}}{2} \\ \dots & \dots & \cdot & \dots \\ \frac{b_{k1}}{2} & \frac{b_{k2}}{2} & \dots & b_{kk} \end{pmatrix}$$

3.3 Caracterização físico-química do resíduo de mamão *in natura* e seco

As amostras foram submetidas a uma série de análises físico-químicas com o objetivo de avaliar o rendimento do processo e o efeito das condições de secagem no produto obtido, além de estabelecer, quando pertinente, uma comparação entre o resíduo *in natura* e o material seco. Foram analisadas propriedades do resíduo de mamão *in natura* e seco, como pH, umidade, atividade de água, cor instrumental, acidez total e compostos bioativos. As amostras secas foram submetidas às análises de umidade, atividade de água, higroscopicidade, cor instrumental, rendimento, acidez total e compostos bioativos (ácido ascórbico, fenólicos, flavonoides e carotenoides).

3.3.1 Umidade

A umidade das amostras foi determinada segundo a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012). Cápsulas de porcelana foram colocadas em estufa de circulação de ar forçado à temperatura de 105°C, por cerca de 30 min e, após esse tempo, foram resfriados em dessecadores até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, as cápsulas secas foram pesadas em balança analítica (Shimadzu - AUW320, Brasil), e aproximadamente 5 g da amostra de resíduo de mamão foram inseridos na cápsula. Na sequência, as cápsulas de porcelana contendo as amostras foram levadas e ficaram na estufa por 24 h. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecadores para resfriamento, e em seguida pesadas. Todas as análises foram realizadas em triplicata. A umidade das amostras, em base úmida (%), foi calculada de acordo com a Equação 3.7.

$$X_u = \frac{M_s - M_{ss}}{M_s} \quad (3.7)$$

em que X_u é a umidade do produto em base úmida, M_s é a massa de sólido úmido (sólidos e água) e M_{ss} é a massa de sólidos secos.

3.3.2 Atividade de água

A determinação da atividade de água (a_w) foi realizada em um analisador de atividade de água (Aqualab, PRE Dewpoint, Water Activity Analyzer), sendo que o

equipamento utiliza o método por ponto de orvalho. A amostra foi distribuída em uma pequena quantidade na cápsula própria para uso no equipamento cobrindo toda a superfície inferior. A cápsula com a amostra foi introduzida na câmara do equipamento, que realiza a leitura automaticamente em alguns minutos. Os valores de atividade de água expressos pelo equipamento variam entre 0,05 e 1,000, sendo valor 1 atribuído para água pura.

3.3.3 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações, baseadas no estudo de Tonon e colaboradores (2011) e descritas na sequência. Colocou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), calculada conforme a Equação 3.8, sendo que nesta Equação, a massa seca da amostra (M_{ss}) é calculada por meio de balanço de massa, conforme a Equação 3.9.

$$H = \frac{M_{ads}}{M_{ss}} \cdot 100 \quad (3.8)$$

$$M_{ss} = [M_s - (M_s \cdot X_{bu})] \quad (3.9)$$

Em que: H representa a higroscopicidade (g de umidade adsorvida $\cdot 100^{-1}$ de massa seca); M_{ads} é a massa de umidade adsorvida (g) e M_{ss} é a massa de sólidos secos (g), M_s é a massa de sólido úmido (massa de água + massa de sólido seco) (g) e X_{bu} é a umidade em base úmida (g água $\cdot \text{g}^{-1}$ de massa total da amostra).

3.3.4 Cor instrumental

A cor instrumental foi analisada por refletância em colorímetro (Konica Minolta CR-400/410), com escala CIELab (L^* , a^* , b^*). As análises foram realizadas em ambiente com temperatura controlada a 25 °C e foram expressas em dois espaços de cor, o CIE $L^*a^*b^*$ e o CIE $L^*C^*h^\circ$ definidos pela CIE (*Comissão Internacional de*

l'Eclairage). Os espaços de cores se diferem no tipo de coordenadas utilizadas, sendo CIE $L^*C^*h^\circ$ coordenadas cilíndricas e CIE $L^*a^*b^*$ coordenadas retangulares.

Na escala CIELab tem-se que a coordenada L^* corresponde à luminosidade, com valores que vão do preto (0) ao branco (100); a coordenada a^* varia do verde (-80) ao vermelho (+100); e, a coordenada b^* assume valores do amarelo (+70) ao azul (-50). O espaço de cor $L^*C^*h^\circ$, semelhante ao CIE $L^*a^*b^*$, é utilizado com grande frequência em indústrias, pois seu sistema se assemelha à percepção do olho humano em relação às cores. Nesse espaço de cor, L^* representa luminosidade, C^* (croma ou cromaticidade) representa saturação e h° (ângulo de hue ou ângulo de tonalidade), por meio das Equações 3.10 e 3.11 (CÖMERT; MOGOL; GÖKMEN, 2020; GILCHRIST; NOBBS, 2016; GÓMEZ-POLO et al., 2015). A diferença total ou global de cor (ΔE) compara os três parâmetros que definem a cor L^* , a^* e b^* , e foi obtida pela Equação 3.12. Quanto menor o valor de ΔE , menores são as modificações na cor da amostra. Os valores de L^*_0 , a^*_0 e b^*_0 foram obtidos dos valores encontrados na análise de cor do resíduo *in natura*.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.10)$$

$$\begin{cases} h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ para } a^* > 0 \text{ e } b^* > 0 \\ h^\circ = 180 + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ para } a^* < 0 \text{ e } b^* > 0 \\ h^\circ = 270 + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ para } a^* < 0 \text{ e } b^* < 0 \\ h^\circ = 360 + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), \text{ para } a^* > 0 \text{ e } b^* < 0 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2} \quad (3.12)$$

3.3.5 Rendimento do processo de spray drying

O rendimento do processo de *spray drying* (RS) foi determinado pela relação entre a massa de sólidos no pó coletado e a massa de sólidos na polpa alimentada no *spray-dryer* (polpa diluída com maltodextrina), de acordo com a Equação 3.13:

$$RS = \frac{M_{s,pó}}{M_{s,suco}} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Em que, RS é o rendimento da secagem (%), $M_{s,pó}$ é a massa de sólidos do pó (g) coletada após a secagem em *spray dryer* e $M_{s,suco}$ é a massa de sólidos da suspensão (g) alimentada no *spray dryer*.

3.3.6 Ácidez titulável total (ATT)

A análise de acidez total titulável (ATT) foi realizada com o objetivo de quantificar o ácido cítrico na amostra, sendo realizada de acordo com o método titulométrico proposto pela Association of Official Analytical Chemist – AOAC (1995). As amostras foram previamente maceradas com água destilada (uma proporção de 50 ml) até se atingir um volume de 250 mL de solução, denominada “suco”. Para um volume de 30 mL do suco obtido foram adicionadas 3 gotas do indicador ácido base fenolftaleína 1% e, posteriormente, a amostra foi destinada à titulação com hidróxido de sódio 0,1 N padronizado, até a mudança da coloração. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico/100 g de amostra em base seca. A porcentagem de acidez foi expressa em g ácido cítrico/100 g de suco e foi calculada utilizando a Equação 3.13.

$$ATT(g \cdot 100 g^{-1}) = n \cdot N \cdot Eq \quad (3.13)$$

Em que: N é a normalidade da solução de hidróxido de sódio; n é o volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, em mL, Eq representa o equivalente-grama do ácido.

3.3.7 Determinação de compostos bioativos

Os compostos bioativos analisados neste estudo foram: os teores de fenólicos totais, flavonoides totais, carotenoides totais e ácido ascórbico. Os compostos foram extraídos das amostras conforme metodologias descritas a seguir.

3.3.7.1 Extração de fenólicos totais

Os compostos fenólicos foram extraídos e quantificados segundo a metodologia descrita por Kähkönen et al. (1999) adaptada. Foram adicionados 10 mL de metanol 80% em um tubo cônico tipo Falcon, contendo 2,5 g da amostra; o sistema

foi agitado por 1 min em vórtex, depois colocado em banho ultrassônico por 10 min, e após isso, centrifugado por 10 min a 1500 rcf.

3.3.7.2 Determinação de fenólicos totais

Para determinação da concentração de fenólicos totais foi transferido 1 mL do extrato fenólico em um tubo, após foi adicionado 1 mL do reagente Folin Ciocalteu. A mistura foi agitada e deixada em repouso por 3 min em ambiente escuro. Em seguida, foram adicionados 3,75 mL de solução de carbonato de cálcio 0,2% e 0,5 mL de água destilada, nesta ordem. A solução permaneceu 1 h em repouso no escuro. O branco foi preparado com o mesmo procedimento nas devidas proporções, sem o extrato. As leituras espectrofotométricas da amostra e do branco foram realizadas a 760 nm em espectrofotômetro (Modelo Espectrofotômetro UV 1280 UV VIS Shimadzu). As análises foram realizadas em triplicata. Os resultados foram calculados com base na curva-padrão de ácido gálico (Equação 3.14), preparada nas mesmas condições que a amostra. O conteúdo fenólico total foi expresso em miligramas de equivalentes de ácido gálico por 100 g de resíduo de mamão em base seca (BERTOLDI, 2006).

$$y = 0,1268 + 0,0032x \quad R^2 = 0,9976 \quad (3.14)$$

Em que: y é a absorvância e x é a concentração (mg/L).

3.3.7.3 Determinação de flavonoides totais

A determinação do teor de flavonoides totais foi realizada pelo método colorimétrico, utilizando a rutina como padrão, de acordo com a metodologia de Zhishen et al. (1999). Foi transferida uma alíquota de 0,5 mL do extrato fenólico da amostra, obtido segundo o item 4.3.6.1, para um tubo de ensaio. Foi adicionado, em seguida, 0,3 mL de nitrito de sódio (NaNO_2) a 5%. Após 5 min, foi adicionado 0,6 mL de solução de cloreto de alumínio (AlCl_3) a 10% em cada tubo de ensaio. Após 11 min foram adicionados 2 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 M. As soluções foram agitadas manualmente, e foram realizadas as leituras espectrofotométricas das amostras e do branco, em espectrofotômetro (Modelo Espectrofotômetro UV-1280 UV-VIS-Shimadzu) a 450 nm. O padrão ("branco") foi preparado seguindo o mesmo procedimento proporções, substituindo o extrato fenólico por água destilada. Os resultados foram calculados com base na curva-padrão de rutina, a partir da Equação

3.15, preparada nas mesmas condições que a amostra. O conteúdo de flavonoides totais foi expresso em gramas de equivalentes de rutina por 100 g de resíduo de mamão em base seca.

$$\text{Curva padrão} = 789,48 * \text{Abs} - 4,9433 \quad (3.15)$$

Em que: *Abs* = leitura da absorvância a 450 nm.

3.3.7.4 Determinação de carotenoides totais

O conteúdo de carotenoides foi determinado de acordo com o descrito por Rodriguez-Amaya (1999). A extração de carotenoides foi obtida a partir de 2,5 g de pó da amostra de resíduo de mamão macerados com acetona, em almofariz com auxílio de um pistilo. Em seguida, a mistura foi filtrada em um funil de Buchner com uma placa sinterizada de porosidade G2, acoplado à bomba de vácuo, até que o resíduo retido no filtro se tornasse incolor. Posteriormente, o filtrado foi transferido, aos poucos, para um funil de separação, por partição em éter de petróleo. Após a separação das fases, a parte aquosa, inferior, foi descartada, e a fase etérea foi lavada com água destilada três vezes, para completa remoção da acetona. Então, o conteúdo etéreo foi transferido para um béquer e foi adicionado uma espátula de sulfato de sódio anidro, para completa remoção de água. Com o auxílio de uma pipeta de vidro, transferiu-se o conteúdo etéreo, aos poucos, para um balão volumétrico de 50 mL e este foi recoberto com papel alumínio para a preservação dos carotenoides e logo foi completado o volume do balão com éter de petróleo. Os extratos foram avaliados em espectrofotômetro (Modelo Espectrofotômetro UV-1280 UV-VIS-Shimadzu) a 450 nm, calibrado com éter de petróleo. Os resultados foram expressos em µg de carotenoides/g de amostra, através da Equação 3.16:

$$\text{Carotenoides totais} = \frac{A \cdot y \cdot 10^6}{A_{1\text{ cm}}^{1\%} \cdot 100} \quad (3.16)$$

Em que: *A* = leitura da absorvância a 450 nm, *y* = volume da solução (100 ml).

$A_{1\text{ cm}}^{1\%}$ = coeficiente de absorção.

3.3.7.5 Determinação do Teor de Ácido Ascórbico

A determinação do teor de ácido ascórbico (AA) também foi realizada por titulometria, segundo metodologia proposta pela AOAC (1995), utilizando-se o mesmo suco obtido na análise de acidez. A metodologia de determinação do teor de AA baseou-se na redução do composto 2,6 diclorofenol - indofenol pelo ácido ascórbico. O DCFI (Diclorofenol indofenol) em meio básico ou neutro é azul, em meio ácido é rosa, e sua forma reduzida é incolor. O ponto final da titulação é detectado pela viragem da solução de incolor para rosa, quando a primeira gota de solução de DCFI é introduzida no sistema, com todo o ácido ascórbico já consumido.

Para tal, adicionou-se ao suco uma solução de ácido oxálico 2%, e então submeteu-se o mesmo à titulação a partir do uso da solução de 2,6 DCFI 0,025% padronizado. Os resultados obtidos foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g amostra em base seca conforme a Equação 3.17:

$$\text{Ácido ascórbico} = \frac{100 \cdot (v_1 - mvs) \cdot F}{V_a} \quad (3.17)$$

$$F = V_A - V_c - M_{vs} \quad (3.18)$$

Em que V_i é volume de indofenol utilizado na titulação da amostra; V_a é o volume de amostra utilizado na titulação; V_c é o volume de solução utilizada na titulação de ácido ascórbico; MVS é a média do volume da solução de indofenol utilizada na titulação do branco; F é o fator da solução de indofenol (fator em mg de ácido ascórbico/mL solução de indofenol).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do resíduo de mamão *in natura*

Na Tabela 4.1 estão apresentados os resultados da caracterização físico-química do resíduo de mamão *in natura*.

Tabela 4.1 - Caracterização físico-química do resíduo do mamão *in natura*.

Parâmetros	Valor
pH	4,78 ± 0,01
Umidade (%)	90,43 ± 0,11
Atividade de água	0,99 ± 0,01
L*	13,03 ± 0,06
a*	- 1,35 ± 0,59
Parâmetro de cor b*	8,77 ± 0,55
C*	8,87 ± 0,53
h°	81,25 ± 0,96
Fenólicos totais (mg GAE/100 g)	3361,67 ± 18,22
Flavonoides totais (mg /100 g)	387,93 ± 2,05
Carotenoides totais (µg/g)	33,46 ± 0,26
Ácido ascórbico (mg/100 g)	3,99 ± 0,04
Acidez total (%)	1,08 ± 0,01

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O resíduo *in natura* apresentou um pH de 4,78±0,01. Silva et al. (2023) encontraram valores de pH para o mamão *in natura* entre 5,50 e 6,49. Dos Santos et al. (2014) na caracterização de farinha de cascas e sementes de mamão de dois diferentes cultivares, encontraram valores de pH próximos a 4,5. Outro estudo, desenvolvido por Sancho et al. (2015), encontrou na caracterização do resíduo do mamão um pH de 4,37. O pH é um parâmetro auxiliar na avaliação da acidez titulável, sendo um indicador importante na avaliação do estado de conservação de um produto

alimentício. Minuye *et al.* (2021) encontraram o teor médio de pH de $5,3 \pm 0,1$, para a polpa do mamão após a secagem por vários métodos.

A atividade de água do resíduo *in natura* foi de $0,99 \pm 0,01$. Reis *et al.* (2018), encontraram valor de atividade de água para o mamão fresco de $0,94 \pm 0,02$.

Quanto à umidade, o resíduo apresentou teor de $90,43 \pm 0,11\%$. A literatura traz alguns trabalhos com teores de umidade próximos ao encontrado no presente estudo. Rinaldi *et al.* (2010) obtiveram em seu estudo de caracterização do resíduo teores de umidade de $90,4 \pm 0,43\%$ e $82,2 \pm 0,17\%$ (m/m) para a polpa e a casca do mamão, respectivamente.

A análise colorimétrica revelou respectivamente, 13,09 para luminosidade (L^*), - 1,35 para intensidade de verde (a^*), 8,77 para intensidade de amarelo (b^*), 8,87 para croma (C^*) e 81,25 para ângulo matiz (h°). Vale destacar que o parâmetro b^* mais positivo (em direção a escala +60) e o ângulo de tonalidade mais próximo a 90° indicam tendência ao amarelo e esse valor pode estar relacionado à presença de carotenoides. De acordo com Silva *et al.* (2023), os frutos apresentam polpa mais escura com o passar dos dias, o que pode estar relacionado à oxidação dos carotenoides, ou indicar escurecimento oxidativo da polpa. O ângulo de tonalidade (h°) de 81,25 indica que o resíduo em estudo é amarelado, o que pode ser confirmado por Silva *et al.* (2023), que relata que, de acordo com o sistema CIELAB, um ângulo menor (em direção a 0°) indica um fruto mais vermelho, enquanto um ângulo maior (em direção a 90°) indica um fruto mais amarelo.

O valor de fenólicos totais encontrado no resíduo do mamão *in natura* foi de $3361,67 \pm 18,223$ (mg GAE/100 g). Vallejo-Castillo *et al.* (2020) relataram teores de fenólicos totais do extrato da mistura de polpa e casca do mamão entre 600 e 1034,45 mg GAE/100 g de amostra. Atwaa; Ahdab; Esraa (2019) analisaram os teores de fenólicos totais da polpa do mamão papaya e obtiveram resultados de $1390,20 \pm 4,20$ (mg GAE/100 g). Tais diferenças nos resultados do teores de compostos fenólicos comparados com outros pesquisadores podem estar relacionadas a variedades dos frutos e aos diversos métodos de extração antioxidante utilizados. Sabe-se também que as condições de armazenamento afetam o conteúdo de polifenóis em frutas, além de fatores como maturidade dos frutos, agroclima e pós-colheita (ADDAI *et al.*, 2013)

O teor de flavonoides para o resíduo do mamão *in natura* foi de $387,93 \pm 2,05$ (mg /100 g). Maisarah *et al.* (2013) encontraram teores de flavonoides para a polpa do mamão de $92,95 \pm 7,12$ (mg /100 g) e para sementes do mamão $59,54 \pm 12,23$. Os flavonoides são a maioria dos fitoquímicos que contribuem para o potencial antioxidante do mamão (MAISARAH *et al.* 2013).

O teor de carotenoides no material *in natura* obtido foi de $33,46 \pm 0,26$ µg/g, e Reis (2015), encontrou valores entre 19,90 e 55,77 µg/g de carotenoides totais para a fruta integral do mamão formosa. Os carotenoides são considerados os principais pigmentos responsáveis pelas cores vermelha, laranja ou amarela das frutas (PIERSON *et al.*, 2012). A diferença dos valores observados no presente estudo comparativamente aos dados da literatura pode ser explicada pela diferença de cultivar, época do ano, condições climáticas e ambientais, transporte, armazenamento, além da metodologia de extração, que pode contribuir para a degradação do pigmento

O valor de ácido ascórbico encontrado para amostra *in natura* foi de $3,99 \pm 0,04$ mg·100 g⁻¹, valor inferior ao obtido por Silva *et al.* (2023), que encontraram valores de ácido ascórbico da polpa do mamão variando de 10,70 a 17,80 mg·100 g⁻¹. A diferença dos valores encontrados pode ter ocorrido em função das partes analisadas do mamão, diferentes para os dois estudos, variabilidade entre cultivares, condições de cultivo da fruta, além disso o ácido ascórbico pode se degradar facilmente com a exposição a luz e ao oxigênio.

A acidez titulável encontrada na caracterização do resíduo do mamão foi de 1,08%, valores inferiores dos encontrados por Rinaldi *et al.* (2010) que foram entre 2,6 e 3,0% na casca e 2,5% na semente do mamão formosa. Ding;Phebe; (2008) estudaram a qualidade pós-colheita do mamão papaya, e um dos parâmetros estudados foi a acidez titulável, apresentando aumento significativo de 7,36 a 20,87% à medida que as frutas amadureceram. Isto pode ser explicado devido a um aumento no ácido succínico, bem como a presença de ácido cítrico, oxálico, fumárico e málico no mamão durante o amadurecimento (DING; PHEBE, 2008).

4.2 Caracterização do resíduo de mamão seco por SD

Nesta subseção são apresentados os resultados obtidos do Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO) para a secagem do resíduo de mamão em *spray dryer*, levando em consideração as seguintes respostas: rendimento, umidade, atividade de água, higroscopicidade, cor instrumental, acidez total e compostos bioativos (ácido ascórbico, fenólicos totais, flavonoides e carotenoides).

4.2.1 Rendimento, umidade, atividade de água e higroscopicidade

Na Tabela 4.2 estão apresentados os resultados experimentais de rendimento, umidade, atividade de água e higroscopicidade nas diferentes condições estudadas, conforme apresentado no planejamento descrito no tópico 3.2.

Os pós do resíduo do mamão obtidos em *spray-dryer* apresentaram umidade baixa, com valores inferiores a 3,5%, com variação entre 0,53% (experimento 24, na condição de maior concentração de maltodextrina) e 3,32% (experimento 23, na condição de menor concentração de maltodextrina). Nota-se que a umidade diminuiu conforme o aumento da concentração da maltodextrina, e isso pode ser justificado pelo fato de que as concentrações adicionais do adjuvante de secagem resultam em um aumento de sólidos na alimentação e, conseqüentemente, uma redução na umidade total a ser evaporada (FAZAELI *et al.*, 2012). A umidade do pó foi maior para as temperaturas mais baixas. O uso de temperaturas mais elevadas provoca uma maior taxa de transferência de calor para as partículas, ocasionando maior evaporação de água do material, resultando em pós com umidade mais baixa (FERRARI *et.al*, 2012).

A atividade de água variou de 0,114 a 0,293. Em geral, esses baixos valores de umidade e atividade de água são adequados para garantir a estabilidade microbiológica dos produtos desidratados. Chang *et al* (2020) encontraram valores de atividade de água entre 0,16 a 0,20 para o pó do mamão produzido a partir de um purê de mamão tratado com 1,0% v/w de Pectinex® Ultra SP-L, uma enzima pectinase, com incubação a 50 °C por até 2 horas, o purê liquefeito foi seco por atomização com concentrações selecionadas de maltodextrina (10% a 50% w/w) e diferentes temperaturas de entrada (140 °C a 180 °C).

Tabela 4.2 - Resultados experimentais de rendimento, umidade, atividade de água e higroscopicidade.

Experimento/ Amostra	Umidade (% b.u.)	Atividade de água (aw)	Higroscopicidade (%)	Rendimento (%)
<i>In Natura</i>	90,43± 0,047	0,99 ± 0,01	-	-
1	2,83± 2,17	0,224±0,002	21,58± 2,01	25,38
2	1,80± 0,68	0,212±0,002	17,19± 2,20	39,60
3	2,75± 0,64	0,214±0,001	22,34± 1,32	25,18
4	1,59± 0,43	0,214±0,001	21,99±2,00	32,24
5	2,75± 0,64*	0,197±0,002	16,92± 4,57	29,43
6	2,09± 0,10	0,202±0,001	14,14± 0,36	38,67
7	2,28± 1,16	0,202±0,001	15,36± 3,36	26,48
8	2,68± 0,72	0,217±0,001	19,34± 0,44	36,16
9	1,42± 0,49	0,157±0,004	26,45± 0,47	31,38
10	0,77± 0,15	0,215±0,001	22,39± 1,32	42,41
11	2,22± 0,84	0,156±0,003	24,19± 1,78	28,40
12	1,63± 0,47	0,219±0,001	22,34± 1,40	43,71
13	2,08± 0,36	0,224±0,004	25,35± 2,37	35,20
14	1,00± 0,09	0,217±0,001	16,65± 0,49	38,69
15	2,31± 0,47	0,258±0,002	21,45± 2,37	36,91
16	1,63± 0,08	0,212±0,001	19,56± 0,11	40,72
17	2,78± 0,47	0,293±0,003	19,42± 1,68	36,90
18	1,77± 0,26	0,114±0,001	18,13± 1,33	38,22
19	1,75± 0,88	0,212±0,001	23,50± 1,13	43,68
20	1,68± 0,32	0,272±0,003	23,62± 2,91	36,65
21	0,64± 0,18	0,223±0,001	19,47± 0,52	32,76
22	1,36± 0,95	0,233±0,001	16,69±0,46*	38,97
23	3,32± 0,02	0,210±0,002	20,52± 1,70	17,16*
24	0,53± 0,70*	0,205±0,001	20,01±0,66	47,07
25	1,02± 0,08	0,206±0,003	19,97± 3,85	44,20
26	1,04± 0,08	0,206±0,001	20,17± 3,80	44,35
27	1,02± 0,31	0,208±0,002	19,91± 3,87	44,44
28	1,01± 0,09	0,208±0,001	19,81± 3,86	44,35

* Outlier na regressão múltipla

A higroscopicidade é uma medida da capacidade de adsorção de água em partículas sólidas. Os valores de higroscopicidade variaram entre 14,14% (experimento 6) e 26,45% (experimento 9). Verifica-se que a presença de maltodextrina contribuiu significativamente para a redução da higroscopicidade dos

pós. No trabalho realizado por Braga *et al.* (2020) sobre secagem de abacaxi com hortelã em *spray-dryer*, o uso de maltodextrina (3%) também demonstrou que a adição desse agente carreador diminuiu a higroscopicidade do pó, sendo justificado pelo aumento da temperatura de transição vítrea (BHANDARI, 2007).

De acordo com os resultados obtidos para o rendimento do resíduo de mamão no *spray dryer*, houve variação entre 17,16% (experimento 23, na condição de menor concentração de maltodextrina), e 47,07% (experimento 24, na condição de maior concentração de maltodextrina). A adição de material de parede, como a maltodextrina, resulta em um aumento de sólidos totais na mistura e redução da aderência do produto às paredes da câmara do secador, conseqüentemente, obtém-se mais partículas coletadas e menores perdas por aderência. Esse fenômeno ocorre devido à formação de uma crosta pela gota de maltodextrina durante a secagem, tornando-a mais espessa. Essa crosta, possivelmente com características vítreas, diminui a aderência entre o equipamento e o produto (ZHANG *et al.*, 2018).

As equações empíricas com os coeficientes significativos (considerando um nível de significância de 10%) obtidas para representar a variação do rendimento, da umidade e da higroscopicidade do produto seco são apresentadas nas Equações de 4.1 a 4.3, respectivamente. Os coeficientes de determinação (R^2) para estas equações foram, respectivamente, 0,8789, 0,9195, e 0,7600. Para a atividade de água o coeficiente de determinação foi baixo e os coeficientes do modelo estimados não foram significativos, verificando a inadequabilidade da Equação obtida para essa resposta. Para melhor visualizar os efeitos dos fatores, superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 4.1.

$$\hat{y}_1 = 44,48 + \underline{\underline{x}}' \underline{\underline{b}}_1 + \underline{\underline{x}}' \underline{\underline{B}}_1 \underline{\underline{x}} \quad (4.1)$$

Em que:

$$\underline{\underline{b}}_1 = \begin{pmatrix} 2,19 \\ 0 \\ 0 \\ 4,66 \end{pmatrix} \quad \underline{\underline{B}}_1 = \begin{pmatrix} -2,77 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1,76 & 0 & 0,665 \\ 0 & 0 & -3,42 & 0 \\ 0 & 0,665 & 0 & -2,06 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_2 = 1,08 + \underline{\underline{x}}' \underline{\underline{b}}_2 + \underline{\underline{x}}' \underline{\underline{B}}_2 \underline{\underline{x}} \quad (4.2)$$

Em que:

$$b_2 = \begin{pmatrix} -0,18 \\ 0,13 \\ 0 \\ -0,28 \end{pmatrix} \quad B_2 = \begin{pmatrix} 0,58 & 0 & 0,165 & 0 \\ 0 & 0,22 & -0,07 & 0,20 \\ 0,165 & -0,07 & 0,73 & 0 \\ 0 & 0,20 & 0 & -0,45 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_3 = 20,13 + \tilde{x}' b_3 + \tilde{x}' B_3 \tilde{x} \quad (4.3)$$

Em que:

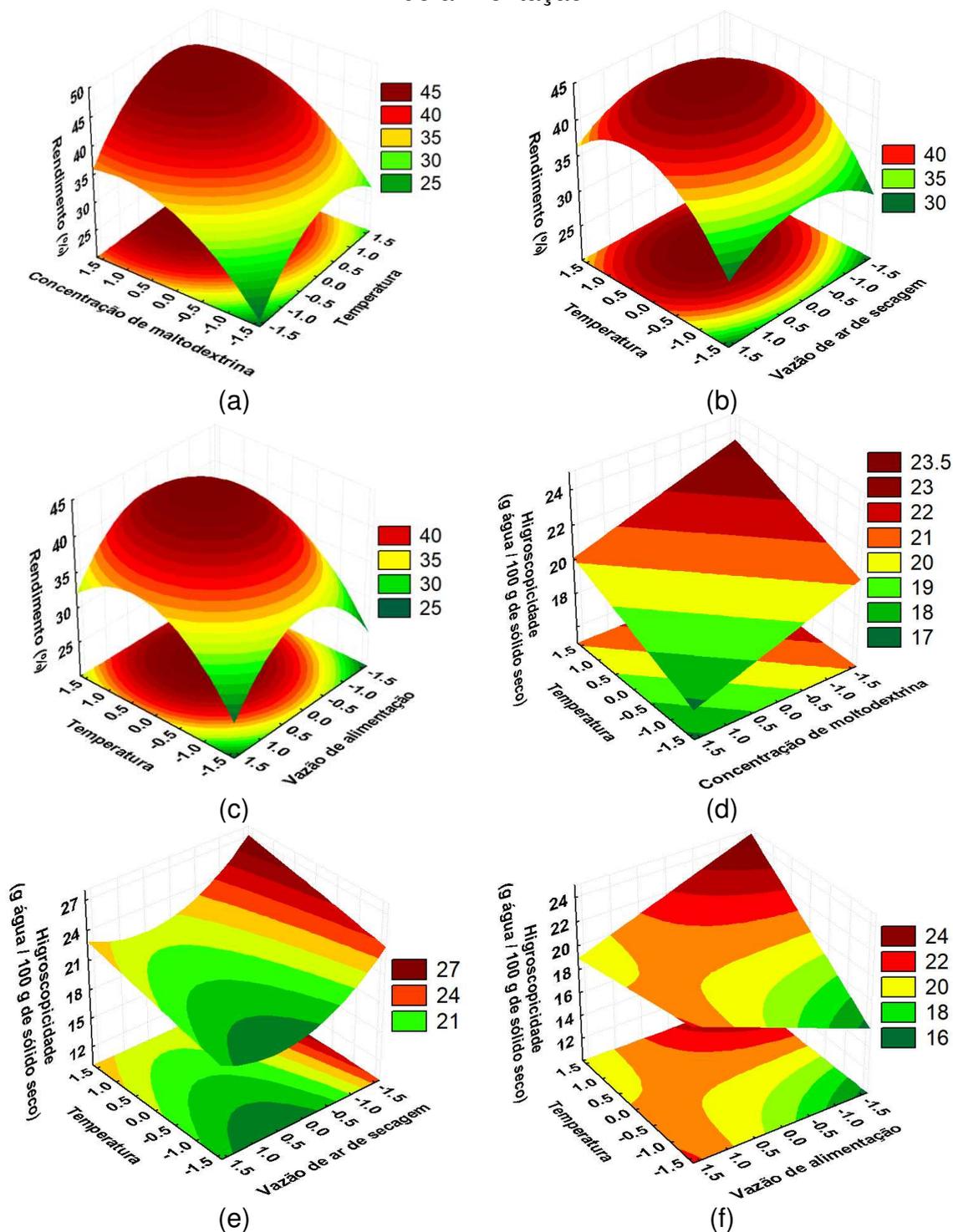
$$b_3 = \begin{pmatrix} 1,05 \\ -1,32 \\ 0 \\ -1,06 \end{pmatrix} \quad B_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -0,555 & 0 \\ 0 & 1,24 & 0 & 0 \\ -0,555 & 0 & 0 & 0,57 \\ 0 & 0 & 0,57 & 0 \end{pmatrix}$$

De acordo com as Equações de 4.1 a 4.3, os quatro fatores investigados afetaram de forma significativa as respostas rendimento, umidade e higroscopicidade, sendo que a vazão de alimentação influenciou na higroscopicidade somente por meio de interação com a temperatura e com a concentração de maltodextrina.

Analisando as superfícies de resposta da Figura 4.1, nota-se que o rendimento foi maior associando níveis intermediários de temperatura com: níveis entre intermediário e superior de concentrações de maltodextrina (Figura 4.1 (a)); níveis intermediários de vazão de ar de secagem (Figura 4.1 (b)); e, níveis intermediários de vazão de alimentação (Figura 4.1(c)).

No que diz respeito à higroscopicidade, percebe-se que o pó obtido foi menos higroscópico associando baixas temperaturas com: altas concentrações de maltodextrina (Figura 4.1 (d)); baixas de vazões de alimentação (Figura 4.1 (f)); e, níveis de vazão de ar de secagem entre intermediário e superior (Figura 4.1 (e)).

Figura 4.1 - Superfícies de respostas para o rendimento do processo e a higroscopicidade do pó seco em função: (a) e (d), da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina; (b) e (e), da temperatura do ar de secagem e da vazão de ar de secagem; (c) e (f), da temperatura do ar de secagem e da vazão de alimentação.



Esse comportamento da baixa higroscopicidade nas menores temperaturas foi interessante porque, considerando todos os experimentos, a umidade do pó foi sempre menor que 4%, indicando a viabilidade de obter produto seco com essas

características desejadas operando em menores temperaturas; contudo, as custas de um rendimento mais baixo.

4.2.2 Caracterização de cor instrumental

Na Tabela 4.3 estão apresentados os resultados experimentais de cor instrumental, para os parâmetros L^* , a^* , b^* , croma (C^*), ângulo de tonalidade (ou de hue – h°) e diferença global de cor (ΔE).

O parâmetro L^* variou de 30,13, no experimento 18, na condição de maior temperatura, a 43,44, no experimento 04, na condição que combina a temperatura no nível -1 e a concentração de maltodextrina no nível +1 (mesmo valor do experimento 20, realizado na condição de maior velocidade de ar de secagem). Nota-se, assim, uma tendência de maior luminosidade com temperaturas mais baixas e maiores níveis de agente aditivo. Verifica-se ainda que o material seco foi mais claro que o material *in natura*, provavelmente devido à adição da maltodextrina. O aumento da maltodextrina conduziu a um aumento perceptível na luminosidade (L^*), isso pode ser explicado devido a cor branca da maltodextrina.

Em relação ao parâmetro a^* , verifica-se que os valores encontrados para o pó seco foram, em geral, maiores que aquele observado para o material *in natura*. A coordenada a^* pode assumir valores que vão do verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos). Os resultados da análise colorimétrica apresentados na Tabela 4.3 mostraram que os valores para a coordenada da cor a^* tenderam a tonalidade verde, e variaram de -0,04 (experimento 11) a -0,77 (experimento 14), as amostras.

A coordenada b^* pode assumir valores que vão do amarelo (valores positivos) ao azul (valores negativos). A partir dos resultados encontrados nota-se que houve variação de 8,23 (experimento 14) a 16,23 (experimento 18, na condição de maior temperatura) para os pós secos, sendo que quanto mais positivo esse parâmetro, mais amarelada a amostra. Estudo realizado por Gomes *et al.* (2018), de secagem por atomização da polpa de mamão, usando uma concentração de maltodextrina de 14%, encontrou valor de $14,49 \pm 0,19$, ou seja, dentro da faixa verificada no presente estudo.

Tabela 4.3 - Resultados experimentais de cor instrumental.

Experimento / Amostra	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE
<i>In Natura</i>	13,03 ± 0,06	1,35 ± 0,06	8,77 ± 0,55	8,88±0,53	81,21±0,96	-
1	33,46 ± 1,20	-0,16 ± 0,00	15,43 ± 0,01	15,43 ± 0,01*	89,54 ± 0,05	21,54 ± 0,05
2	36,63 ± 0,05	-0,16 ± 0,00	14,43 ± 0,02	14,43 ± 0,02	89,36 ± 0,00	24,32 ± 1,15
3	39,34 ± 2,67	-0,75 ± 0,04	9,19 ± 0,94	9,22 ± 0,93	85,33 ± 0,74	26,40 ± 2,66
4	43,44 ± 0,02	-0,43 ± 0,01	15,06 ± 0,02	15,07 ± 0,02	88,36 ± 0,04	31,10 ± 0,02
5	37,78 ± 0,07	-0,10 ± 0,01	12,55 ± 0,01	12,55 ± 0,01	89,54 ± 0,05	25,08 ± 0,00
6	40,44 ± 0,01	-0,24 ± 0,01	13,14 ± 0,01	13,14 ± 0,01	88,95 ± 0,03	27,80 ± 0,01
7	33,20 ± 0,01	-0,04 ± 0,004	13,21 ± 0,01	13,21 ± 0,01*	89,83 ± 0,21	20,70 ± 0,01
8	35,42 ± 0,13	-0,44 ± 0,01	15,35 ± 0,02	15,36 ± 0,02	88,36 ± 0,04	23,41 ± 0,01
9	32,54 ± 0,56	-0,13 ± 0,03	11,67 ± 0,07	11,67 ± 0,07	89,36 ± 0,13	19,78 ± 0,56
10	34,44 ± 0,25	-0,44 ± 0,05	9,74 ± 0,02	9,75 ± 0,02	87,41 ± 0,03	21,51 ± 0,02
11	32,45 ± 0,03	-0,04 ± 0,03	12,13 ± 0,16	12,13 ± 0,16	89,81 ± 0,14	19,76 ± 0,03
12	40,86 ± 0,68	-0,07 ± 0,03	11,34 ± 0,03	11,34 ± 0,03	89,65 ± 0,18	27,98 ± 0,68
13	35,98± 0,00	-0,40 ± 0,01	14,63 ± 0,01	14,64 ± 0,01	88,43 ± 0,02	23,75 ± 0,01
14	38,19 ± 0,51	-0,77 ± 0,02	8,23 ± 0,01	8,27 ± 0,01	84,65 ± 0,16	25,25 ± 0,03
15	32,76 ± 0,61	-0,43 ± 0,02	14,17 ± 0,01	14,18 ± 0,01	88,26 ± 0,06	20,53 ± 0,06
16	34,47 ± 0,04	-0,69 ± 0,02	11,25 ± 0,001	11,27 ± 0,02	86,49 ± 0,10	21,68 ± 0,02
17	36,57 ± 0,26	-0,14 ± 0,02	10,11 ± 0,02	10,11 ± 0,02	89,21 ± 0,15	23,63 ± 0,25
18	30,13 ± 0,14	-0,24 ± 0,04	16,23 ± 0,02*	16,23 ± 0,01*	89,15 ± 0,16	18,72 ± 0,50
19	35,42 ± 0,82	-0,12 ± 0,36	12,19 ± 0,04	12,19 ± 0,04	89,44 ± 0,13	22,70 ± 0,80*
20	33,60 ± 0,02	-0,28 ± 0,01	11,70 ± 0,02	15,07 ± 0,02	88,62 ± 0,04	20,84 ± 0,02*
21	37,11± 0,67	-0,10 ± 0,01	12,55 ± 0,01	12,55 ± 0,01	89,54 ± 0,05	24,42 ± 0,00
22	38,34± 0,01	-0,41 ± 0,02	11,35 ± 0,10	11,36 ± 0,10	87,93 ± 0,11	25,50 ± 0,31
23	33,20 ± 0,01	-0,09 ± 0,01	13,21 ± 0,01	13,21 ± 0,01	89,61 ± 0,04	20,70 ± 0,01
24	41,19 ± 0,09	-0,52 ± 0,03	11,29 ± 0,05	11,30 ± 0,04	87,36 ± 0,16	28,33 ± 0,53
25	37,93 ± 1,43	-0,03 ± 0,01	11,67 ± 0,07	11,67 ± 0,07	89,85 ± 0,13	25,11 ± 0,55
26	37,78 ± 1,66	-0,02 ± 0,00	11,00± 0,00	11,00 ± 0,02*	89,90 ± 0,05*	24,89 ± 0,02
27	37,72 ± 0,32	-0,04 ± 0,03	12,13 ± 0,16	12,13 ± 0,16	89,81 ± 0,14	24,96 ± 0,04
28	37,44 ± 0,61	-0,02 ± 0,01	11,34 ± 0,03	11,34 ± 0,03	89,90 ± 0,06	24,58 ± 0,37

* Outlier na regressão múltipla

Os valores do ângulo de tonalidade variaram de 84,65 a 89,90°, com tendência ao amarelo (próximo de 90°). No que diz respeito ao croma (ou saturação) os valores foram de 8,27 (experimento 14) a 16,23 (experimento 18). A saturação, C*, é definida como a distância radial do centro do espaço até o ponto da cor. No centro do espaço LCh°, encontram-se os valores mínimos de saturação, e à medida que se avança para

as extremidades, esse valor aumenta. A saturação está diretamente relacionada à concentração do elemento corante e representa uma medida quantitativa da intensidade. Quanto maior o croma, maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos. Cores neutras têm baixa saturação, enquanto cores puras têm alta saturação e, portanto, são percebidas como mais brilhantes pelos humanos (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013).

Em relação a diferença de cor global, o ΔE , os valores foram de 18,72 (experimento 18) a 28,33 (experimento 24). Menores valores para a diferença global de cor indicam uma melhor preservação da cor natural em produtos secos e uma clara diferença de percepção na cor pode ser notada no caso em que o valor ΔE está acima de 3,5 (MOKRZYCKI; TATOL 2011). Nesse sentido, os valores foram sempre elevados, provavelmente, devido à notável diferença na comparação dos valores dos parâmetros L^* , a^* e b^* , antes e após a secagem. Valores próximos foram encontrados por VEGA-GÁLVEZ *et al.* (2021) em que as amostras de mamão secas à vácuo apresentaram valores de diferença total de cor (ΔE) que variaram de 17,20 a 20,19.

As equações empíricas (com os coeficientes significativos, considerando um nível de significância de 10%) obtidas para representar a variação dos parâmetros de cor do produto seco em função das variáveis independentes estudadas, são apresentadas nas Equações de 4.4 a 4.9, respectivamente, para parâmetro L^* , parâmetro a^* , parâmetro b^* , croma, ângulo de tonalidade e diferença global de cor. Os valores de R^2 para as regressões foram, 0,8098, 0,8091, 0,9129, 0,9052, 0,8215 e 0,9173, respectivamente, para os parâmetros L^* , a^* , b^* , C^* , h° e ΔE . As superfícies de resposta representadas por estas equações são mostradas na Figura 4.2.

$$\hat{y}_4 = 37,83 + \tilde{x}' b_4 + \tilde{x}' B_4 \tilde{x} \quad (4.4)$$

Em que:

$$b_4 = \begin{pmatrix} -1,05 \\ 0 \\ 0 \\ 2,33 \end{pmatrix} \quad B_4 = \begin{pmatrix} -1,80 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,915 & 0 \\ 0 & -0,915 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_5 = -0,06 + \tilde{x}' b_5 + \tilde{x}' B_5 \tilde{x} \quad (4.5)$$

Em que:

$$b_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ -0,09 \\ -0,07 \\ -0,07 \end{pmatrix} \quad B_5 = \begin{pmatrix} -0,06 & -0,035 & 0,085 & -0,06 \\ -0,035 & -0,09 & -0,03 & 0 \\ 0,085 & -0,03 & -0,08 & 0,055 \\ -0,06 & 0 & 0,055 & -0,10 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_6 = 11,13 + \tilde{x}' b_6 + \tilde{x}' B_6 \tilde{x} \quad (4.6)$$

Em que:

$$b_6 = \begin{pmatrix} -0,98 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad B_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -0,645 \\ 0 & 1,03 & 0 & -0,305 \\ 0 & 0 & 0 & 0,375 \\ -0,645 & -0,305 & 0,375 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_7 = 11,45 + \tilde{x}' b_7 + \tilde{x}' B_7 \tilde{x} \quad (4.7)$$

Em que:

$$b_7 = \begin{pmatrix} -0,54 \\ 0,59 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad B_7 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -0,81 \\ 0 & 0,79 & 0 & -0,47 \\ 0 & 0 & 0 & 0,205 \\ -0,81 & -0,47 & 0,205 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_8 = 90,29 + \tilde{x}' b_8 + \tilde{x}' B_8 \tilde{x} \quad (4.8)$$

Em que:

$$b_8 = \begin{pmatrix} 0,36 \\ 0 \\ 0 \\ 0,60 \end{pmatrix} \quad B_8 = \begin{pmatrix} 0 & 0,325 & -0,37 & 0,36 \\ 0,325 & 0 & 0 & 0,20 \\ -0,37 & -0,07 & 0 & -0,255 \\ 0,36 & 0,20 & -0,255 & 0,52 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_9 = 24,97 + \tilde{x}' b_9 + \tilde{x}' B_9 \tilde{x} \quad (4.9)$$

Em que:

$$b_9 = \begin{pmatrix} -1,32 \\ 0 \\ 0 \\ 1,78 \end{pmatrix} \quad B_9 = \begin{pmatrix} -1,31 & 0,27 & 0 & 0 \\ 0,27 & 0 & -1,05 & -0,29 \\ 0 & -1,05 & 0 & 0,25 \\ 0 & -0,29 & 0,25 & 0 \end{pmatrix}$$

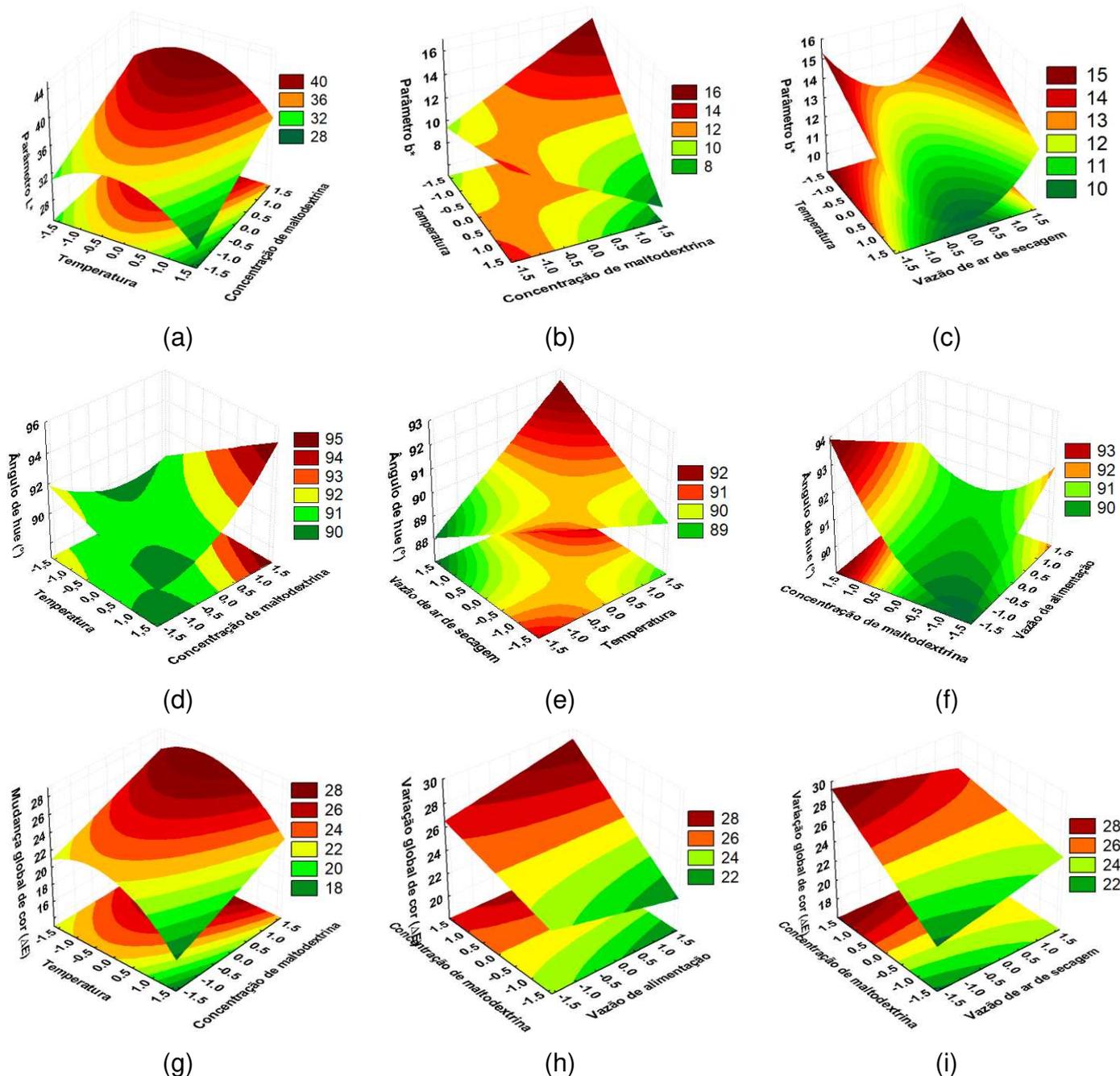
Segundo as Equações de 4.4 a 4.9, todas as variáveis independentes apresentaram efeito significativo nos parâmetros de cor, seja de forma isolada, por

meio de interação entre os fatores, ou ainda através de termos quadráticos, sendo que em algumas respostas alguns fatores afetaram somente por meio de interação.

Observando a Figura 4.2 (a), verifica-se que o pó foi mais escuro com a combinação de temperaturas mais elevadas e baixas concentrações de maltodextrina. Um aumento no nível do agente carreador conduziu a um aumento na luminosidade, pois o efeito principal para essa variável no parâmetro L^* teve sinal positivo e ela não apresentou interações ou termo quadrático significativos.

Em relação ao parâmetro b^* , visualiza-se que o pó foi mais amarelo associando menores temperaturas e maiores concentrações de maltodextrina (Figuras 4.2 (b)) e combinando baixas temperaturas com níveis extremos de vazão de ar de secagem (Figuras 4.2 (c)). Ainda em relação à tendência ao amarelo, observa-se que o ângulo de tonalidade foi mais próximo de 90° : quando não se associou níveis mais elevados de temperatura e de concentração de agente carreador (Figuras 4.2 (d)); quando se combinou níveis mais baixos de temperatura com níveis mais altos de vazão de ar de secagem ou temperaturas mais elevadas com menores vazões de ar de secagem (Figuras 4.2 (e)); ou ainda, quando se operou ao mesmo tempo com níveis inferiores de vazão de alimentação e de concentração de maltodextrina (Figuras 4.2 (f)). Destaca-se que essas figuras mostram significativos efeitos de interação entre as variáveis no ângulo de tonalidade.

Figura 4.2 - Superfícies de respostas para os parâmetros de cor, L^* , b^* , h° e ΔE do pó seco em função: (a), (b), (d) e (g), da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina; (c) e (e), da temperatura do ar de secagem e da vazão de ar de secagem; (f) e (h), vazão de alimentação e concentração de maltodextrina e (i) vazão de ar de secagem e concentração de maltodextrina.



No que diz respeito à diferença global de cor constata-se que o ΔE foi menor com a combinação de baixas concentrações de maltodextrina com: níveis extremos de temperatura (Figuras 4.2 (g)); maiores vazões de ar de secagem (Figuras 4.2 (h)); e, menores vazões de alimentação (Figuras 4.2 (i)).

Na Figura 4.3 está apresentada uma imagem dos pós obtidos nos 28 experimentos do planejamento experimental, em que é possível observar a variação da cor em função das diferentes condições investigadas.

Figura 4.3- Pós obtidos nos 28 experimentos do planejamento experimental.



Fonte: A autora.

Por meio da figura 4.3 é possível observar que ocorreu uma variação de cor nos pós obtidos do resíduo do mamão. Os experimentos que foram adicionados uma concentração de 20% de maltodextrina (experimentos 2, 4, 6, 8 e 24) visualmente apresentaram ser mais claros em comparação aos que foram adicionados menores concentrações de maltodextrina (experimentos 1, 3, 5, 7 e 9). A mesma conclusão pode ser ter para a temperatura, os experimentos realizados em baixas temperaturas (experimentos 01 ao 08) mostraram ser mais claros em comparação aos realizados nas altas temperaturas (experimentos 9 a 16). Todos os pós tiveram uma tendência a coloração amarela, com indicado pelo ângulo de tonalidade próximo a 80.

4.2.3 Acidez total e Compostos bioativos

Na Tabela 4.4 estão apresentados os resultados experimentais de acidez total, ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides e carotenoides totais.

A acidez influencia o sabor do fruto, pois mede a quantidade de ácido presente no mesmo, podendo apresentar valores muito variáveis, dependendo de vários fatores como variedade, estado de maturação, entre outros (FREITAS *et al.*, 2019).

Os valores de acidez total titulável variaram entre 0,31% e 2,70%. Rinaldi *et al.* (2010), encontraram valores entre 2,6 e 3,0 na casca e 2,5% na semente do mamão formosa. Pode se observar que os maiores valores de acidez foram associados a uma elevada temperatura e uma baixa concentração de maltodextrina, isso porque a adição de maltodextrina reduz o teor de acidez, ocasionando a redução da concentração dos ácidos orgânicos na amostra. Os valores encontrados, em geral, foram relativamente baixos no que diz respeito a esse parâmetro, o que traduz doçura ao material (FREITAS *et al.*, 2019).

Os valores de ácido ascórbico encontrados nos pós do resíduo do mamão variaram entre 0,11 mg·100 g⁻¹ (b.s.) (experimento 14, sendo o mesmo valor do experimento 24) e 0,32 mg·100 g⁻¹ (b.s.) (experimento 23), valores próximos aos encontrados por Calvache *et al.* (2016) que obtiveram teores de ácido ascórbico de 0,53 mg·100 g⁻¹ (b.s.) para a polpa de mamão liofilizada, e 1,18 mg·100 g⁻¹ (b.s.) para casca do mamão liofilizada.

Tabela 4.4 - Resultados experimentais para os compostos bioativos estudados

Experimento/ Amostra	Acidez total (%)	Ácido ascórbico (mg·100 g ⁻¹ (b.s.))	Fenólicos (mg·100 g ⁻¹ (b.s.))	Flavonóides (mg·100 g ⁻¹ (b.s.))	Carotenóides (µg /g)
<i>In natura</i>	1,08%	3,99± 0,04	3361,67±18,22	387,93±2,05	33,46±0,26
1	2,70%	0,24± 0,02	2225,84± 24,70	491,19±9,937	51,44± 0,36
2	0,90%	0,19± 0,01	1834,30±75,94	909,00±3,28	50,84± 0,21
3	2,70%	0,26± 0,01	2924,34±30,37	719,96± 15,12	54,48± 0,55
4	0,90%	0,21± 0,02	2202,66±19,80	1141,40±24,99	52,99± 0,41
5	0,31%	0,26±0,05	2963,31±49,97	992,67±8,721	65,97± 0,19
6	0,90%	0,25± 0,04	2177,15± 36,44	1246,25± 4,97	59,06± 0,21
7	2,10%	0,26± 0,01	3471,89± 54,67	844,49± 10,63	68,83± 0,21
8	1,50%	0,24± 0,05	2617,39± 30,37	1305,00±12,19	62,99± 0,55
9	1,80%	0,13± 0,01	2148,37±140,28	1161±10,55	43,01± 0,57
10	1,20%	0,12± 0,02	1062,63±6,04	719,96± 15,12	42,39± 0,19
11	1,80%	0,14± 0,01	2202,66±19,80	565,15± 14,80	46,67± 0,30
12	1,20%	0,12± 0,04	1923,95±9,94	909,00± 3,28	44,70± 0,53
13	2,70%	0,12± 0,02	1935,62±2,91	776,62± 4,89	55,49± 0,21
14	1,20%	0,11± 0,01	1894,37±19,89	964,33± 4,92	52,75± 0,21
15	1,80%*	0,14± 0,02	2690,79±59,83	688,30± 17,55	63,35± 0,21
16	1,50%	0,13± 0,01	985,27±32,27	1203,01±8,16	58,23± 0,36
17	1,80%	0,28± 0,04	1638,82±46,44*	973,74±1,95	57,16± 3,56
18	2,70%	0,21± 0,05	1883,52±3,63	976,15±1,89	43,74± 0,36
19	1,80%	0,14± 0,02	2540,86±76,67	631,74±15,77	60,13± 0,21*
20	1,80%	0,15± 0,01	2996,36±18,72	933,77±15,38	63,71± 3,24
21	2,40%	0,16± 0,03	1642,46±41,39	963,29±43,59	65,25± 0,41
22	2,70%	0,24± 0,02	2170,09±33,97	927,49±2,89	68,23± 0,62
23	1,80%	0,32± 0,02	3107,32±129,722	961,37±6,66	71,21± 0,21*
24	1,50%	0,11± 0,02	1573,82±41,17	973,74±1,95	42,61± 0,38
25	1,80%	0,21± 0,01	2944,54±40,46	776,62±4,89	52,27± 0,20
26	1,80%	0,22± 0,01	2948,53±42,54	1070,52±4,88	51,79± 0,24
27	1,80%	0,22± 0,03	2957,67±42,53	1071,75±3,69	51,15± 0,25
28	1,80%	0,21± 0,01	2940,14±27,86	1071,99±3,19	51,21± 0,35

* Outlier na regressão múltipla

Vega-Gálvez *et al.* (2019) em um estudo analisando cinco métodos de secagem do mamão, observaram que em todos os tipos de processamento os teores de ácido ascórbico diminuiram significativamente com aumento da temperatura. Segundo Kurozawa *et al.* (2014) as altas temperaturas contribuem para diminuição do tempo

de secagem devido à maior transferência de calor para as amostras gerando uma maior evaporação de umidade, no entanto, o aumento dessas temperaturas pode causar redução do teor de vitamina C. Sidlagatta *et al.* (2020) durante a secagem por pulverização da laranja doce, observaram que a retenção de vitamina C foi menor em temperaturas mais altas e com menor concentração de maltodextrina. De acordo com os autores isso se deve ao ácido ascórbico ser termicamente sensível, sendo que os resultados mostraram que houve degradação do mesmo durante a secagem do suco controle e do suco concentrado. No presente trabalho, também, a melhor retenção de ácido ascórbico foi para a menor concentração de maltodextrina (experimento 23).

Os valores encontrados para teor de fenólicos variaram de 985,27 mg/100 g de produto seco (b.s.) (experimento 16) a 3471,89 mg/100 g de produto seco (b.s.) (experimento 7). Observa-se que quando foram adotadas altas vazões de ar de secagem e baixas temperaturas, houve o aumento da concentração de fenólicos. Com uma alta vazão do ar de secagem têm-se maior quantidade de ar em contato com as gotículas e, assim, com as amostras expostas ao calor em menor tempo de secagem, há uma menor degradação térmica dos teores de fenólicos totais (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Da Silva *et al.* (2014) encontraram teores de fenólicos totais para a polpa do mamão de $1263,70 \pm 126,97$ mg/100 g de sólido seco (base seca) e $783,37 \pm 25,38$ mg/100 g de sólido seco (em base seca) para o resíduo do mamão.

Para os flavonoides totais os valores obtidos permaneceram entre 491,19 mg/100 g de sólido seco (em base seca) (experimento 1, com baixo nível de maltodextrina) a 1305,00 mg/100 g de sólido seco (em base seca) (experimento 8, com alto nível de maltodextrina). Os teores de flavonoides tenderam a aumentar com maiores concentrações de maltodextrina. A maltodextrina, produto da hidrólise parcial do amido, é composta principalmente por macromoléculas. Essas macromoléculas proporcionam proteção física para moléculas menores, e esse efeito protetor se intensifica com o aumento da concentração de maltodextrina dos pós. Um estudo desenvolvido por Amira (2013) analisando várias partes selecionadas do mamoeiro, encontrou teores de $30,32 \pm 6,90$ a $424,89 \pm 0,22$ mg / 100 g de produto seco, para flavonoides totais.

Os valores de carotenoides totais obtidos variaram entre $42,39 \pm 0,19$ µg/g de sólido seco (experimento 10, na condição de maior concentração de maltodextrina) a

71,21 ± 0,21 µg/g de sólido seco (experimento 23, na condição de menor concentração de maltodextrina).

Silva *et al.* (2020) encontraram valores próximos aos do presente estudo, de 49,90 ± 1,17 µg/g, no resíduo de sementes de mamão secas em estufa com circulação de ar a 40°C. Em outro estudo, Minuye *et al.* (2021) avaliaram-se a retenção de compostos bioativos no mamão, através de vários métodos de secagem, sendo que foram encontrados valores para teores de carotenoides totais entre 45,10 ± 1,80 e 103,74 ± 1,11 µg/g.

Lara-Abia *et al.* (2021) em um estudo de extração assistida encontraram teores de carotenoides totais a partir de extratos de polpa de mamão de 58,7 ± 1,6 e 56,0 ± 1,5 µg de carotenoides/g de óleo, usando óleo de soja e óleo de girassol, respectivamente (60% de amplitude/ 10 min/ 20% de etanol). Por outro lado, os maiores teores de carotenoides, 52,0 ± 0,9 µg de carotenoides/g de óleo, foi obtido da casca de mamão, utilizando óleo de soja e aplicando a extração assistida por ultrassom (20% de amplitude/ 77 min/ 20% de etanol); um teor menor, de 39,3 ± 0,5 µg de carotenóides/g de óleo, foi obtido da casca de mamão usando óleo de girassol a 60% de amplitude/ 60 min/ 5% de etanol.

Alguns estudos indicaram que os carotenoides totais no mamão podem se degradar durante o processo de secagem. Udomkun *et al.* (2015) destacaram que fatores como temperatura durante a secagem podem levar à decomposição dos carotenoides, em comparação com a polpa fresca. Durante o método de secagem por *spray drying* da fruta gac, Chuyen *et al.* (2019) relataram que a combinação da alta temperatura de entrada com a baixa taxa de alimentação resultou em alta temperatura de saída o que, conseqüentemente, reduziu a retenção de carotenoides.

As equações de regressão múltipla, com os coeficientes significativos (considerando um nível de significância de 10%), obtidas para representar a variação do teor de acidez total, ácido ascórbico, compostos fenólicos totais, flavonoides totais e carotenoides totais respectivamente, em função das variáveis independentes avaliadas são apresentadas nas Equações de 4.10 a 4.14, respectivamente. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) para as regressões foram, 0,8877, 0,9207, 0,8393, 0,8030 e 0,9849, respectivamente para acidez total, ácido ascórbico,

compostos fenólicos totais, flavonoides totais e carotenoides totais. As superfícies de resposta representadas por estas equações são visualizadas na Figura 4.3.

$$\hat{y}_{10} = 1,98 + \tilde{x}' b_{10} + \tilde{x}' B_{10} \tilde{x} \quad (4.10)$$

Em que:

$$b_{10} = \begin{pmatrix} 0,23 \\ 0 \\ 0,21 \\ 0 \end{pmatrix} \quad B_{10} = \begin{pmatrix} 0 & 0,18 & 0 & -0,275 \\ 0,18 & -0,14 & 0,125 & -0,20 \\ 0 & 0,125 & 0,15 & -0,07 \\ -0,275 & -0,20 & -0,07 & -0,20 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_{11} = 0,21 + \tilde{x}' b_{11} + \tilde{x}' B_{11} \tilde{x} \quad (4.11)$$

Em que:

$$b_{11} = \begin{pmatrix} -0,06 \\ 0 \\ 0,01 \\ 0,02 \end{pmatrix} \quad B_{11} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_{12} = 2820,30 + \tilde{x}' b_{12} + \tilde{x}' B_{12} \tilde{x} \quad (4.12)$$

Em que:

$$b_{12} = \begin{pmatrix} -380,93 \\ 139,05 \\ 171,28 \\ -393,54 \end{pmatrix} \quad B_{12} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -381,00 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -212,87 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_{13} = 1024,81 + \tilde{x}' b_{13} + \tilde{x}' B_{13} \tilde{x} \quad (4.13)$$

Em que:

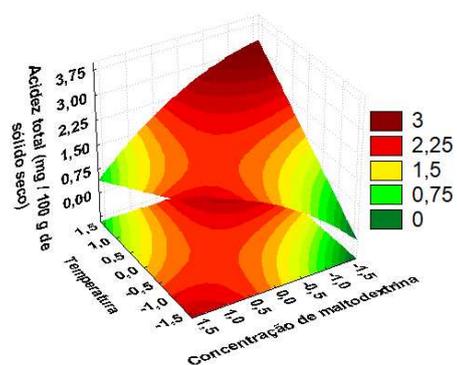
$$b_{13} = \begin{pmatrix} -58,63 \\ 61,76 \\ 0 \\ 75,41 \end{pmatrix} \quad B_{13} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -74,61 & 0 & 39,275 \\ 0 & 0 & 119,05 & 0 \\ 0 & 39,275 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\hat{y}_{14} = 51,49 + \tilde{x}' b_{14} + \tilde{x}' B_{14} \tilde{x} \quad (4.14)$$

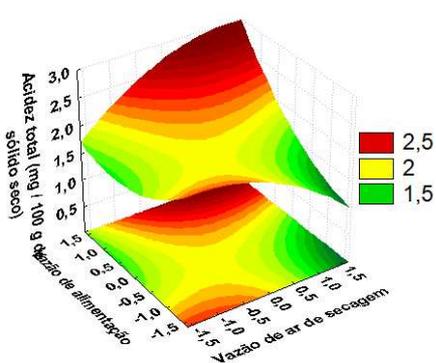
Em que:

$$b_{14} = \begin{pmatrix} -3,85 \\ 6,45 \\ 1,70 \\ -1,54 \end{pmatrix} \quad B_{14} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,28 & -0,5 \\ 0 & 0,28 & -5,82 & 0 \\ 0 & -0,5 & 0 & -2,66 \end{pmatrix}$$

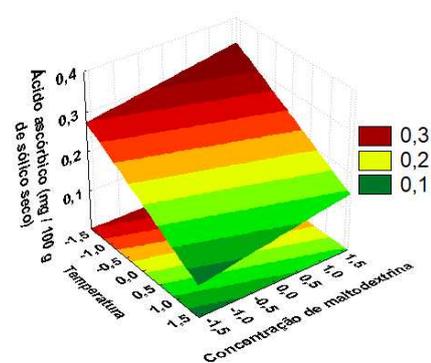
Figura 4.3 - Superfícies de respostas para os compostos bioativos do pó seco em função: (a), (c) e (f) da temperatura do ar de secagem e da concentração de maltodextrina; (b) e (g) da vazão de alimentação e da vazão de ar de secagem; (e) e (i), vazão de alimentação e concentração de maltodextrina; (d) e (h) temperatura do ar de secagem e vazão de ar de secagem.



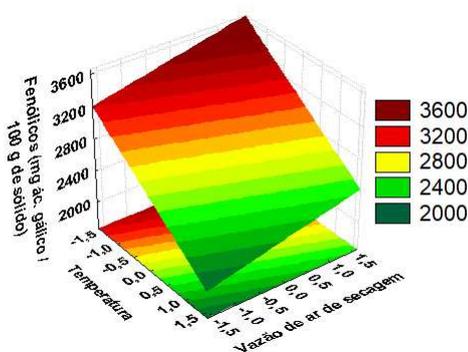
(a)



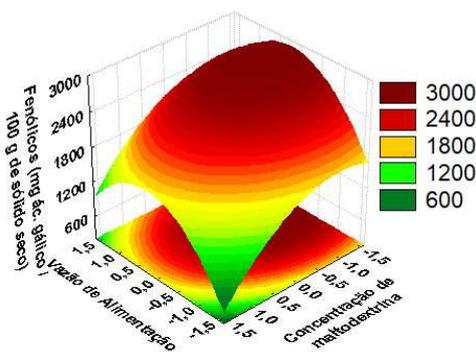
(b)



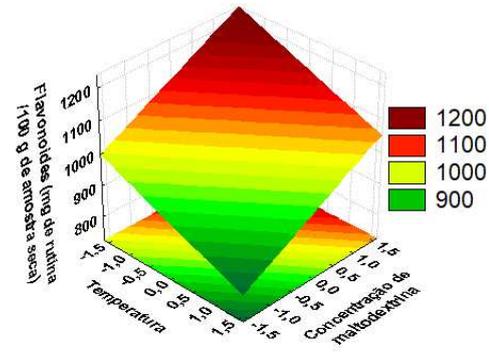
(c)



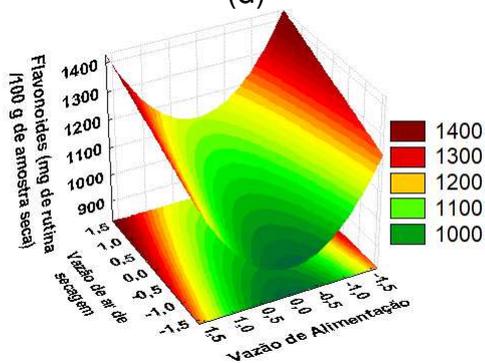
(d)



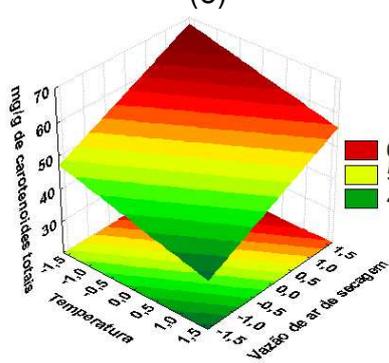
(e)



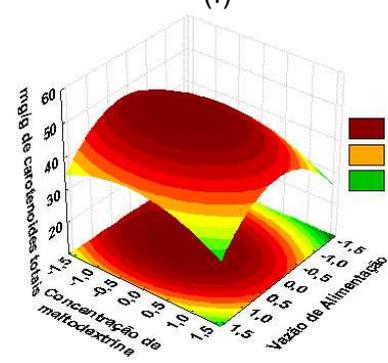
(f)



(g)



(h)



(i)

Conforme as Equações de 4.10 a 4.14, todos os fatores influenciam de forma significativa na acidez total e nos compostos bioativos, por meio de efeito principal, interação ou de termo quadrático.

Analisando as superfícies de resposta das Figuras 4.3 (a) e (b), observa-se que a acidez foi maior, respectivamente, associando uma elevada temperatura e uma baixa concentração de maltodextrina, e combinando maiores níveis de vazão de ar de secagem e de vazão de alimentação.

Por meio da Figura 4.3 (c) nota-se que o teor de ácido ascórbico foi mais elevado quando se operou ao mesmo tempo com baixas temperaturas e elevadas concentração de maltodextrina. Além disso, a Equação 4.11 mostra que a variável com maior efeito no ácido ascórbico foi a temperatura, sendo que o sinal negativo do parâmetro e o fato desse fator ter sido significativo somente como efeito principal conduziu ao comportamento de que o aumento da temperatura resultou em uma diminuição na resposta. Da mesma forma, a Equação 4.11 ainda mostra que o aumento da vazão de alimentação e o aumento da concentração do agente carreador levaram a uma tendência de elevação do teor de ácido ascórbico. Por fim, níveis intermediários de vazão de ar de secagem resultaram em maior teor de ácido ascórbico, uma vez que para esse fator somente o termo quadrático foi significativo e apresentou sinal negativo.

No que diz respeito aos fenólicos totais, verifica-se que o teor desses compostos foi maior quando: realizou-se experimentos simultaneamente com baixas temperaturas e elevadas vazões de ar de secagem (Figura 4.3 (d)); e, o secador foi operado ao mesmo tempo com níveis intermediários de vazão de alimentação e concentrações de maltodextrina entre um nível intermediário e o nível superior (Figura 4.3 (e)). Ademais, de acordo com a Equação 4.12, à medida que se aumentou a temperatura, os compostos fenólicos totais diminuíram, pois o parâmetro relacionado ao efeito principal desse fator tem sinal negativo; e, da mesma forma, devido ao sinal positivo do parâmetro relacionado à vazão de ar de secagem, tem-se que uma vez que essa variável foi incrementada o teor de fenólicos tendeu a crescer.

Em relação aos flavonoides, percebe-se que os valores foram mais elevados para: baixas temperaturas combinadas com altas concentrações de agente carreador (Figura 4.3 (f)); maiores vazões de ar de secagem associadas com vazões de

alimentação extremas (Figura 4.3 (g)). Na Equação 4.13, o sinal negativo do parâmetro relacionado à temperatura significa que o aumento da temperatura conduziu a uma redução nos flavonoides.

Já as superfícies de resposta das Figuras 4.3 (h) e (i) mostram que o teor de carotenoides totais foi maior combinando, respectivamente: um nível inferior de temperatura com um nível mais elevado de vazão de ar de secagem; e, níveis intermediários de vazão de alimentação e de concentração de maltodextrina. Assim como para os demais compostos bioativos, tem-se que na Equação 4.14 o parâmetro relacionado à temperatura tem sinal negativo e esse fator foi significativo somente de forma isolada, revelando que o teor de carotenoides totais diminuiu à medida que se elevou a temperatura. Nota-se uma tendência de diminuição dos carotenoides em altas temperaturas combinadas com vazões de alimentação intermediárias. No caso do efeito da temperatura, a redução da retenção de carotenoides pode estar associada a degradação térmica. Possivelmente durante o processo de secagem a amostra ao ser submetida a altas temperaturas, sofreu degradação térmica dos pigmentos. Chuyen et al. (2019) relataram que houve a degradação de carotenoides do melão (*Momordica cochinchinensis* Spreng.) devido a exposição a altas temperaturas durante a secagem em *spray dryer*.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que foi possível realizar a secagem de resíduos de mamão formosa (cascas e sementes) utilizando o spray dryer. As variáveis independentes investigadas mostraram interferir significativamente no rendimento e nas características do pó seco obtido.

A adição de maltodextrina influenciou de modo significativo na redução da umidade dos pós, com uma diminuição conforme a concentração aumentava.

Em geral, os pós apresentaram umidade baixa, com valores inferiores a 3,5% e média de 1,77% e atividade de água estável entre 0,197 e 0,293, influenciados pela temperatura, que apresentou efeito negativo. Além disso, a higroscopicidade dos pós foi melhorada pela presença de maltodextrina, tendo o menor valor de 14,14% em altas concentrações (20%).

Os rendimentos foram satisfatórios para o processo de secagem em spray dryer, em que maiores concentrações de maltodextrina, combinadas com temperaturas mais elevadas, resultaram em rendimentos superiores a 20%.

Em relação aos compostos bioativos, quando foram adotadas altas vazões de ar de secagem e baixas temperaturas, houve maior concentração de fenólicos. Para o ácido ascórbico, composto altamente instável, as perdas foram maiores durante o processo de secagem, principalmente para maiores temperaturas e menores concentrações de maltodextrina. As melhores condições de processo, com base em tendência a menor umidade, maior rendimento o experimento 23 mostrou melhor preservar os compostos bioativos em relação aos demais experimentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUEDO, Mario *et al.* Composition of by-products from cooked fruit processing and potential use in food products. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 61–69, 2012.
- AJILA, C. M.; LEELAVATHI, K.; PRASADA RAO, U. J.S. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 319–326, 2008.
- AKTER, Ferdusee *et al.* Optimization of Drying Parameters for Total Phenolic Content of Papaya Using Response Surface Methodology. **International Journal of Food Science**, [s. l.], v. 2022, 2022.
- ALARA, Oluwaseun Ruth; ABDURAHMAN, Nour Hamid; UKAEGBU, Chinonso Ishamel. **Extraction of phenolic compounds: A review**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2021.
- AMAYA-CRUZ, Diana María *et al.* Juice by-products as a source of dietary fibre and antioxidants and their effect on hepatic steatosis. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 17, p. 93–102, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.051>.
- AMIRA, Nurul. Maisaroh 2013. [s. l.], v. 20, n. 3, p. 1043–1048, 2013.
- ANDRADE, Mariana A. *et al.* Pomegranate and grape by-products and their active compounds: Are they a valuable source for food applications?. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 86, n. February, p. 68–84, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.010>.
- ANGULO-LÓPEZ, Jorge E. *et al.* Guava (*Psidium guajava* L.) fruit and valorization of industrialization by-products. **Processes**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 1–17, 2021.
- ANWAR, Mohammad *et al.* The potential of utilising papaya seed oil and stone fruit kernel oil as non-edible feedstock for biodiesel production in Australia—A review. **Energy Reports**, [s. l.], v. 5, p. 280–297, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.02.007>.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**, ed.16, v. 1, Gaithersburg, MD, 1995.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**, ed.16, v. 1, Gaithersburg, MD, 1995.
- ATWAA, E.; ELMAADAWY, Ahdab; AWAAD, Esraa. Production of Fruit Flavored Probiotic Rice Milk Beverage. **Journal of Food and Dairy Sciences**, [s. l.], v. 10, n. 12, p. 453–458, 2019.
- ÁVILA, Suelen *et al.* Carica papaya seed enhances phytochemicals and functional properties in cornmeal porridges. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 323, n. April, p. 126808, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126808>.

- AYALA-ZAVALA, J. F. *et al.* Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, [s. l.], v. 44, n. 7, p. 1866–1874, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>.
- BAHRU, Tassew Belete; TADELE, Zinabwa Hailu; AJEBE, Eyasu Gebrie. A Review on Avocado Seed: Functionality, Composition, Antioxidant and Antimicrobial Properties. **Chemical Science International Journal**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 1–10, 2019.
- BANWO, Kolawole *et al.* Functional importance of bioactive compounds of foods with Potential Health Benefits: A review on recent trends. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 43, n. May, p. 101320, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101320>.
- BAYRAM, Banu *et al.* Valorization and application of fruit and vegetable wastes and by-products for food packaging materials. **Molecules**, [s. l.], v. 26, n. 13, 2021.
- BERTOLDI, M. C. **Atividade antioxidante *in vitro* da fração fenólica, das oleorresinas e do óleo essencial de pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius Raddi*)**. 2206. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- BHANDARI, B. R. Stickiness and Caking in Food Preservation. In: M. S. RAHMAN, Handbook of Food Preservation. p. 387-401, CRC Press, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781420017373.ch17>.
- BIESALSKI, Hans Konrad *et al.* Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. **Nutrition**, [s. l.], v. 25, n. 11–12, p. 1202–1205, 2009.
- BLANCO CANALIS, M. S.; LEÓN, A. E.; RIBOTTA, P. D. Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 271, n. March 2018, p. 309–317, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.146>.
- BOX, G.E., HUNTER, W.G. and Hunter, J.S. (2005) Statistics for Experimenters. 2nd Edition, Wiley, New York.
- BRAGA, V., Guidi, L. R., Santana, R. C., Zotarelli, M. F. Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying, **Powder Technology**, Volume 375, 2020, Pages 409-419. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.012>.
- CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spraydried Amaranthus betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, Chicago 65 (6), p.1248-1252, 2000.
- CALDEIRA, Carla *et al.* Quantification of food waste per product group along the food supply chain in the European Union: a mass flow analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 149, n. August 2018, p. 479–488, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.011>.
- CALVACHE, Jhon *et al.* Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 27, p. 319–328, 2016. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.012>.

CALÍN-SÁNCHEZ, Ángel *et al.* Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. [S. l.]: **MDPI AG**, 2020.

CARMO, Jéssica Silva Do; NAZARENO, Laila Sabrina Queiroz; RUFINO, Maria Do Socorro Moura. Characterization of the acerola industrial residues and prospection of their potential application as antioxidant dietary fiber source. **Food Science and Technology (Brazil)**, [s. l.], v. 38, p. 236–241, 2018.

CHAIWARIT, Tanpong *et al.* Mango (cv. Nam Dokmai) peel as a source of pectin and its potential use as a film-forming polymer. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 102, n. July 2019, 2020.

CHANG, L. S.; TAN, Y. L.; PUI, L. P.. Production of spray-dried enzyme-liquefied papaya (*Carica papaya* L.) powder. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. e2019181, 2020

CHIELLE, Daniel Padoin *et al.* Convective drying of papaya seeds (*Carica papaya* L.) and optimization of oil extraction. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 85, p. 221–228, 2016.

CHUYEN, Hoang V. *et al.* Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. **Powder Technology**, [s. l.], v. 344, p. 373–379, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.012>.

CÖMERT, Ezgi Doğan; MOGOL, Burçe Ataç; GÖKMEN, Vural. Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. **Current Research In Food Science**, [S.L.], v. 2, p. 1-10, jun. 2020. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.001>.

DA SILVA, Larissa Morais Ribeiro *et al.* Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 143, p. 398–404, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>.

DANTAS, Adriana *et al.* Innovations in spray drying technology for liquid food processing: Design, mechanisms, and potential for application. **Applied Food Research**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2024.

DE OLIVEIRA, Sabrina Duarte *et al.* Improvement in physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) and guava (*Psidium guajava* L.) fruit by-products fermented with potentially probiotic lactobacilli. **Lwt**, [s. l.], v. 134, n. June, 2020.

DING, Phebe. Postharvest Quality of *Carica Papaya* Var. Eksotika After Foliar Feeding Treatment. Universiti Putra Malaysia Press, 2008.

DHUA, Subhamoy *et al.* Bioactive compounds and its optimization from food waste: review on novel extraction techniques. **Nutrition and Food Science**, [s. l.], v. 52, n. 8, p. 1270–1288, 2022.

DOTTO, Joachim M.; ABIHUDI, Siri A. Nutraceutical value of *Carica papaya*: A review. **Scientific African**, [s. l.], v. 13, p. e00933, 2021.

DUBEY, Abhinav *et al.* A Comprehensive Review on Greenhouse Drying Technology. **Journal of Agriculture and Ecology Research International**, [s. l.], p. 10–20, 2020a.

DUBEY, Abhinav *et al.* A Comprehensive Review on Greenhouse Drying Technology. **Journal of Agriculture and Ecology Research International**, [s. l.], n. February, p. 10–20, 2020b.

DURAN BARÓN, Ricardo *et al.* Encapsulation of citrulline extract from watermelon (*Citrullus lanatus*) by-product using spray drying. **Powder Technology**, [s. l.], v. 385, p. 455–465, 2021.

FALLAH, Aziz A.; SARMAST, Elham; JAFARI, Tina. Effect of dietary anthocyanins on biomarkers of glycemic control and glucose metabolism: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. **Food Research International**, [s. l.], v. 137, n. May, p. 109379, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109379>.

FAUSTINO, Jose *et al.* Biological treatment for rheumatoid arthritis: a review of the main approved monoclonal antibodies. **Worldwide Medicine**, [s. l.], n. 0, p. 1, 2019.

FAZAEI, Mahboubeh *et al.* Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioprocess Processing**, [s. l.], v. 90, n. 4, p. 667–675, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>.

FENG, Xiaoyu *et al.* Effects of papaya (*Carica papaya* L.) seed supplementation on quality attributes, adsorption capacities, and in vitro starch digestibility of wheat bread. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 3226–3239, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01415-0>.

FERNÁNDEZ, María de los Ángeles *et al.* Novel approaches mediated by tailor-made green solvents for the extraction of phenolic compounds from agro-food industrial by-products. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 239, p. 671–678, 2018.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE J. M. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 157 - 165, jan./mar. 2012.

FERRI, Maura *et al.* Recovery of polyphenols from red grape pomace and assessment of their antioxidant and anti-cholesterol activities. **New Biotechnology**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 338–344, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2015.12.004>.

FIGUEROA, Jorge G. *et al.* Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 352, n. January, 2021.

FÖSTE, Maïke *et al.* Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free

bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 306, n. September 2019, p. 125451, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125451>.

FREITAS, Elaine de Fatima Miranda *et al.* Efeito da maltodextrina no sumo da polpa de abacaxi Pérola atomizado. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 271–280, 2019.

FURUTA, Takeshi; NEOH, Tze Loon. Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. **Drying Technology**, [s. l.], v. 39, n. 12, p. 1800–1831, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1862181>.

GANESH, K. Selva; SRIDHAR, Adithya; VISHALI, S. Utilization of fruit and vegetable waste to produce value-added products: Conventional utilization and emerging opportunities-A review. **Chemosphere**, [s. l.], v. 287, n. P3, p. 132221, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132221>.

GILCHRIST, Alison; NOBBS, Jim. Colorimetry, Theory. *Encyclopedia Of Spectroscopy And Spectrometry*, [S.L.], p. 328-333, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803224-4.00124-2>.

GOMES, Wesley Faria *et al.* Effect of freeze- and spray-drying on physico-chemical characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of papaya pulp. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 55, n. 6, p. 2095–2102, 2018.

GÓMEZ-GARCÍA, Ricardo *et al.* **Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2020.

GONÇALVES RODRIGUES, Luiz Gustavo *et al.* Recovery of bioactive phenolic compounds from papaya seeds agroindustrial residue using subcritical water extraction. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 22, 2019.

GORJANOVIĆ, Stanislava *et al.* Evaluation of apple pomace flour obtained industrially by dehydration as a source of biomolecules with antioxidant, antidiabetic and antiobesity effects. **Antioxidants**, [s. l.], v. 9, n. 5, 2020.

GUSTAFSSON, Jesper *et al.* Development of bio-based films and 3D objects from apple pomace. **Polymers**, [s. l.], v. 11, n. 2, 2019.

HASAN, Mahmood Ul *et al.* **Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review**. [S. l.]: Blackwell Publishing Ltd, 2019.

JAYAPRAKASH, Preethi *et al.* Encapsulation of bioactive compounds using competitive emerging techniques: Electro spraying, nano spray drying, and electrostatic spray drying. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 339, 2023.

JOYMAK, Waralee *et al.* Unripe papaya by-product: From food wastes to functional ingredients in pancakes. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 3, 2021.

KÄHKÖNEN, Marja P.; HOPIA, Anu I.; VUORELA, Heikki J.; RAUHA, Jussi-Pekka; PIHLAJA, Kalevi; KUJALA, Tytti S.; HEINONEN, Marina. Antioxidant Activity of Plant

Extracts Containing Phenolic Compounds. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, [S.L.], v. 47, n. 10, p. 3954-3962, 24 set. 1999. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/jf990146l>.

KOPUSTINSKIENE, Dalia M. *et al.* Flavonoids as anticancer agents. **Nutrients**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 1–25, 2020.

KUMAR, Manoj *et al.* Guava (*Psidium guajava* L.) seed: A low-volume, high-value byproduct for human health and the food industry. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 386, n. March, p. 132694, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132694>.

KUROZAWA, Louise Emy *et al.* Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 123, p. 157–164, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.039>.

LARA-ABIA, Sara *et al.* **High Hydrostatic Pressure-Assisted Extraction of Carotenoids from Papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) Tissues Using Soybean and Sunflower Oil as Potential Green Solvents**. [S. l.]: Springer, 2021.

LARGO ÁVILA, E.; CORTÉS RODRÍGUEZ, M.; CIRO VELÁSQUEZ, H. J. Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 68, n. 1, p. 7509–7520, 2015.

LIMA, Paula Cristina Carvalho *et al.* Aproveitamento agroindustrial de resíduos de mamão “formosa” minimamente processados. **Revista Agrogeoambiental**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 59–74, 2018.

LIU, Lihua *et al.* Biotransformation of polyphenols in apple pomace fermented by β -glucosidase-producing *Lactobacillus rhamnosus* I08. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1–12, 2021.

LLAVATA, Beatriz *et al.* Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. **Current Opinion in Food Science**, [s. l.], v. 35, p. 20–26, 2020.

LUIZA KOOP, Betina *et al.* Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. **Food Research International**, [s. l.], v. 153, n. January, 2022a.

MADA, Tanje *et al.* Effect of mixed banana and papaya peel pectin on chemical compositions and storage stability of Ethiopian traditional yoghurt (ergo). **International Dairy Journal**, [s. l.], v. 131, p. 105396, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105396>.

MAISARAH, A. M.; AMIRA, N. B.; ASMAH, R.; FAUZIAH, O. Antioxidant Analysis of Different Parts of *Carica Papaya*. *International Food Research Journal*, v. 20, n. 3, p. 1043-1048, 2013.

MAJERSKA, Joanna; MICHALSKA, Anna; FIGIEL, Adam. **A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products**. [S. l.]:

Elsevier Ltd, 2019.

MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, Antonio J. An Overview of Carotenoids, Apocarotenoids, and Vitamin A in Agro-Food, Nutrition, Health, and Disease. **Molecular Nutrition and Food Research**, [s. l.], v. 63, n. 15, p. 1–11, 2019.

MENA-GARCÍA, Adal et al. Green techniques for extraction of bioactive carbohydrates. *Trac Trends in Analytical Chemistry*, v. 119, p. 115612, 2019.

MYERS, R. H. *Response Surface Methodology*. New York: Wiley, 1976

MINUYE, Masresha *et al.* Effects of different drying methods and ascorbic acid pretreatment on carotenoids and polyphenols of papaya fruit in Ethiopia. **Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 3346–3353, 2021.

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M.. **Colour difference ΔE** : a survey. Olsztyn: Machine Graphic & Vision, 2011. 29 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey. Acesso em: 21 julho 2023.

NETLAK, Petcharat *et al.* β -Carotene and lutein accumulation, and carotenoid biosynthetic gene expression during fruit development and fruit ripening of A genome banana. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 307, n. September 2022, p. 111484, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111484>.

NIETO CALVACHE, Jhon et al. Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 27, p. 319–328, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.012>.

NIGHOJKAR, Sadhana *et al.* Production of polygalacturonase by immobilized cells of *Aspergillus niger* using orange peel as inducer. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 41, n. 5, p. 1136–1140, 2006.

OLIVEIRA, Francyllen Beserra de *et al.* Produção e caracterização da farinha da casca da banana. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. e0910817017, 2021.

OLIVEIRA, P. P.; Schmidt, V. C. R.; Santana, R. C; Zotarelli, M. F., 2023. Production and characterization of mint (*Mentha spicata* L.) by spray drying. *Journal of Food Process Engineering*. 47, 1. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14508>

PANDISELVAM, R. *et al.* Individual and interactive effect of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and biochemical qualities of food: A critical review. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 92, n. October 2022, 2023.

PARVEN, Aney *et al.* Prolonging the shelf life of Papaya (*Carica papaya* L.) using Aloe vera gel at ambient temperature. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 265, n. November 2019, p. 109228, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109228>.

PATHAK, Pranav D.; MANDAVGANE, Sachin A.; KULKARNI, Bhaskar D. Waste to

Wealth: A Case Study of Papaya Peel. **Waste and Biomass Valorization**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1755–1766, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-0181-x>.

PATHARE, Pankaj B.; OPARA, Umezuruike Linus; AL-SAID, Fahad Al Julanda. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 36–60, 2013.

PATRA, Abhipriya; ABDULLAH, S.; PRADHAN, Rama Chandra. Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. **Bioresources and Bioprocessing**, [s. l.], v. 9, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00498-3>.

PIOVESANA, Alessandra; BUENO, Micheli Maria; KLAJN, Vera Maria. Elaboração e aceitabilidade de biscoitos enriquecidos com aveia e farinha de bagaço de uva. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 16, n. 1, p. 68–72, 2013.

PIERSON, Jean T.; DIETZGEN, Ralf G.; SHAW, Paul N.; ROBERTS-THOMSON, Sarah J.; MONTEITH, Gregory R.; GIDLEY, Michael J.. Major Australian tropical fruits biodiversity: bioactive compounds and their bioactivities. **Molecular Nutrition & Food Research**, [S.L.], v. 56, n. 3, p. 357-387, 7 dez. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.201100441>.

PRITHVIRAJ KARAK. Biological Activities of Flavonoids: an Overview. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1567–1574, 2019. Disponível em: <https://ijpsr.com/bft-article/biological-activities-of-flavonoids-an-overview/>.

REIS, R. C. et al. Stability and Sensory Quality of Dried Papaya. *Food and Nutrition Sciences*, v. 09, n. 05, p. 489–501, 2018.

RESENDE, Laís M.; FRANCA, Adriana S.; OLIVEIRA, Leandro S. Burity (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 270, n. December 2017, p. 53–60, 2019.

REZENDE, Yara Rafaella Ribeiro Santos; NOGUEIRA, Juliete Pedreira; NARAIN, Narendra. Comparison and optimization of conventional and ultrasound assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* DC) residue. **Lwt**, [s. l.], v. 85, p. 158–169, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.020>.

RIBEIRO, L. C. **Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade**. 2014. 126. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Fortaleza - CE, 2014.

RINALDI, Maria Madalena; LIMA, Thaise Ananele De; PALMIRO, Diego Ascheri Ramirez. Caracterização Física de Frutos de Mamão e Química de Cascas e Sementes. **Embrapa Cerrados-Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, [s. l.], p. 17, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75815/1/bolpd-263.pdf>.

- RODA, Arianna; LAMBRI, Milena. Food uses of pineapple waste and by-products: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 1009–1017, 2019.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. (2001) A Guide to Carotenoid Analysis in Foods. ILSI Human Nutrition Institute. One Thomas Circle, NW, Washington DC, 20005-5802, 64.
- RODRIGUEZ-CONCEPCION, Manuel *et al.* A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. **Progress in Lipid Research**, [s. l.], v. 70, n. February, p. 62–93, 2018.
- ROLIM, Priscilla Moura; SEABRA, Larissa Mont'Alverne Jucá; DE MACEDO, Gorete Ribeiro. Melon By-Products: Biopotential in Human Health and Food Processing. **Food Reviews International**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 15–38, 2020.
- ROLL ZIMMER, Tailise Beatriz; BARBOZA MENDONÇA, Carla Rosane; ZAMBIAZI, Rui Carlos. Methods of protection and application of carotenoids in foods - A bibliographic review. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 48, n. May, p. 101829, 2022.
- RONGTONG, Bumrungrat *et al.* Determination of water activity, total soluble solids and moisture, sucrose, glucose and fructose contents in osmotically dehydrated papaya using near-infrared spectroscopy. **Agriculture and Natural Resources**, [s. l.], v. 52, n. 6, p. 557–564, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.11.023>.
- SAGAR, Narashans Alok *et al.* Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 512–531, 2018.
- SAGAR, V. R.; SURESH KUMAR, P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 15–26, 2010.
- SAINI, Anuradha; PANESAR, Parmjit Singh; BERA, Manab Bandhu. Valorization of fruits and vegetables waste through green extraction of bioactive compounds and their nanoemulsions-based delivery system. **Bioresources and Bioprocessing**, [s. l.], v. 6, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0261-9>.
- SALAZAR-LÓPEZ, Norma Julieta *et al.* Single-Cell Protein Production as a Strategy to Reincorporate Food Waste and Agro By-Products Back into the Processing Chain. **Bioengineering**, [s. l.], v. 9, n. 11, 2022.
- SAMBORSKA, Katarzyna *et al.* Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying microencapsulation of phytochemicals. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 108, n. January, p. 297–325, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.008>.
- SANCHO, Soraya De Oliveira *et al.* Characterization of the industrial residues of seven fruits and prospection of their potential application as food supplements. **Journal of Chemistry**, [s. l.], v. 2015, 2015.
- SANTANA, Lidiani F.; INADA, Aline C.; SANTO, Bruna Larissa Spontoni do Espirito;

FILIĐ, Wander F. O.; POTT, Arnildo; ALVES, Flávio M.; GUIMARÃES, Rita de Cássia A.; FREITAS, Karine de Cássia; HIANE, Priscila A.. Nutraceutical Potential of Carica papaya in Metabolic Syndrome. **Nutrients**, [S.L.], v. 11, n. 7, p. 1608, 16 jul. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu11071608>.

SANTOS, Aline Elias dos *et al.* Impact of drying method as pretreatment for extraction of bioactive compounds from jambolan (*Syzygium cumini* (L.) Skeels). **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 25, 2022.

SANTOS, Cláudia Mendes dos; ABREU, Celeste Maria Patto de; FREIRE, Juliana Mesquita; QUEIROZ, Estela de Rezende; MENDONÇA, Marcelle Mendes. Chemical characterization of the flour of peel and seed from two papaya cultivars. **Food Science And Technology** (Campinas), [S.L.], v. 34, n. 2, p. 353-357, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.2014.0048>.

SANTOS FELIX, Antonio C. *et al.* Mixture Design and Doehlert Matrix for the Optimization of the Extraction of Phenolic Compounds from Spondias mombin L Apple Bagasse Agroindustrial Residues. **Frontiers in Chemistry**, [s. l.], v. 5, n. January, p. 1–8, 2018.

SANTOS, Diva; LOPES DA SILVA, José A.; PINTADO, Manuela. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. **Lwt**, [s. l.], v. 154, n. October 2021, 2022.

SHARMA, Ashutosh *et al.* Phytochemistry, pharmacological activities, nanoparticle fabrication, commercial products and waste utilization of *Carica papaya* L.: A comprehensive review. **Current Research in Biotechnology**, [s. l.], v. 2, n. September, p. 145–160, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2020.11.001>.

SIDLAGATTA, Vishnuvardhan *et al.* Effect of Maltodextrin Concentration and Inlet Air Temperature on Properties of Spray Dried Powder from Reverse Osmosis Concentrated Sweet Orange Juice. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s. l.], v. 63, 2020.

SILVA, Kátia Gomes da *et al.* Coatings Based on Gelatin and Chitosan in the Conservation of Papaya (*Carica papaya* L.) Minimally Processed. **Horticulturae**, [s. l.], v. 9, n. 7, 2023.

SUNDARAM, Thanigaivel *et al.* Advancements in biosurfactant production using agro-industrial waste for industrial and environmental applications. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 15, n. February, 2024.

THEAGARAJAN, Radhika *et al.* Valorisation of grape pomace (cv. Muscat) for development of functional cookies. **International Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 54, n. 4, p. 1299–1305, 2019.

TONON, R. V. *et al.* Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **J. Food Eng.**, v. 94, p. 215–221, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009>

TORRES-LEÓN, Cristian *et al.* Edible films and coatings based on mango (var.

Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. **Lwt**, [s. l.], v. 97, n. July, p. 624–631, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>.

TREMOCOLDI, Maria Augusta *et al.* Exploration of avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 1–12, 2018.

TRIGO, João P. *et al.* High value-added compounds from fruit and vegetable by-products—Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 60, n. 8, p. 1388–1416, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1572588>.

UDOMKUN, Patchimaporn *et al.* Influence of air drying properties on non-enzymatic browning, major bio-active compounds and antioxidant capacity of osmotically pretreated papaya. **LWT**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 914–922, 2015.

VALENCIA-HERNANDEZ, Leidy Johana *et al.* Procyanidins: From agro-industrial waste to food as bioactive molecules. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 12, p. 1–33, 2021.

VALLEJO-CASTILLO, Vladimir *et al.* Development of alginate-pectin microcapsules by the extrusion for encapsulation and controlled release of polyphenols from papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Biochemistry**, [s. l.], v. 44, n. 9, 2020.

VEGA-GÁLVEZ, Antonio *et al.* Chemical and bioactive characterization of papaya (*Vasconcellea pubescens*) under different drying technologies: evaluation of antioxidant and antidiabetic potential. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1980–1990, 2019.

VEGA-GÁLVEZ, Antonio *et al.* Comparative study of dehydrated papaya (*Vasconcellea pubescens*) by different drying methods: quality attributes and effects on cells viability. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 2524–2530, 2021.

VIEIRA DA SILVA JÚNIOR, Edvaldo *et al.* Influence of ultrasound and vacuum assisted drying on papaya quality parameters. **Lwt**, [s. l.], v. 97, n. March, p. 317–322, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.017>.

XIAO, Zuobing *et al.* Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 298, n. August, p. 120113, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120113>.

YAASHIKAA, P. R.; SENTHIL KUMAR, P.; VARJANI, Sunita. Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 343, n. August 2021, p. 126126, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126126>.

ZHANG, Liangqing *et al.* Maltodextrin: A consummate carrier for spray-drying of xylooligosaccharides. **Food Research International**, [s. l.], v. 106, n. January, p. 383–393, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.004>.

ZHENG, Xianzhe *et al.* Metabolism and Regulation of Ascorbic Acid in Fruits. **Plants**, [s. l.], v. 11, n. 12, 2022.

ZIA, Sania *et al.* An update on functional, nutraceutical and industrial applications of watermelon by-products: A comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 114, n. October 2020, p. 275–291, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.039>.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chemistry**, v. 64, p. 555–559, 1999.