



---

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

---



**BÁRBARA LORRANY MOREIRA SILVA VIEIRA**

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO DE  
MORANGO  
(Fragaria x ananassa Duch)**

**Patos de Minas - MG**

**2023**

**BÁRBARA LORRANY MOREIRA SILVA VIEIRA**

**SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO  
DE MORANGO**

**(Fragaria x ananassa Duch)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, área de concentração em Desenvolvimento de Processos e Produtos.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Marta Fernanda Zotarelli

**Patos de Minas- MG**

**2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

V658s      Vieira, Bárbara Lorrany Moreira Silva, 1993-  
2023      Secagem e caracterização do resíduo de morango (*Fragaria x ananassa* Duch) [recurso eletrônico] / Bárbara Lorrany Moreira Silva Vieira. - 2023.

Orientador: Ricardo Corrêa de Santana.

Coorientadora: Marta Fernanda Zotarelli.

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

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5048>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Tecnologia de alimentos. I. Santana, Ricardo Corrêa de, 1985-, (Orient.). II. Zotarelli, Marta Fernanda, 1985-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

---

André Carlos Francisco  
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

|                               |                                                                           |                 |       |                       |       |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------|-----------------------|-------|
| Programa de Pós-Graduação em: | Engenharia de Alimentos                                                   |                 |       |                       |       |
| Defesa de:                    | Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 9/2023 - PPGEA                       |                 |       |                       |       |
| Data:                         | Trinta de agosto de dois mil e vinte e três                               | Hora de início: | 14:00 | Hora de encerramento: | 16:45 |
| Matrícula do Discente:        | 42112EAL002                                                               |                 |       |                       |       |
| Nome do Discente:             | Bárbara Lorrany Moreira Silva Vieira                                      |                 |       |                       |       |
| Título do Trabalho:           | Secagem e caracterização do resíduo de morango (Fragaria x ananassa Duch) |                 |       |                       |       |
| Área de concentração:         | Engenharia de Alimentos                                                   |                 |       |                       |       |
| Linha de pesquisa:            | Desenvolvimento de Processos e Produtos                                   |                 |       |                       |       |

Reúne-se por webconferência a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Ricardo Corrêa de Santana (Presidente), Henrique Coutinho de Barcelos Costa (Membro UFU) e Kássia Graciele dos Santos (Membro Externo).

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

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

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do titulo 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 **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/08/2023, às 16:46, 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 **Kássia Graciele dos Santos, Usuário Externo**, em 30/08/2023, às 16:50, 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 **Henrique Coutinho de Barcelos Costa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/08/2023, às 16:52, 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](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4775561** e o código CRC **7CE80DF5**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora das Graças por todas as bênçãos recebidas, pela esperança e força concedidos para fazer parte do tão sonhado programa de pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia.

Agradeço também, a minha família principalmente meu esposo Wellington e meu filho Joaquim que foram meu esteio e motivação para continuar meu projeto. Em especial, meu filho Joaquim por ter passado tanto tempo distante de sua mãe e mesmo com tão pouca idade sempre incentivar meus sonhos. Dedico meus agradecimentos também a minha mãe Sebastiana, que me apoiou e incentivou durante toda minha vida e ao meu Pai Marcos que mesmo não estando presente fisicamente, sempre foi um grande exemplo de amor para mim. A minha sogra Eva, agradeço o amparo e as palavras de sabedoria e amor. Ao meu sogro Ernane que durante esse trabalho nos deixou fisicamente, porém deixou em nossos corações o legado de força, esperança e fé. A minha irmã Larissa e ao meu cunhado Alisson, agradeço pelo apoio, pela disponibilidade e ajuda sempre. A minha sobrinha Malu que trouxe alegria, esperança e amor para nossa família. Amo muito vocês!

De forma especial gostaria de agradecer meu orientador, professor Dr. Ricardo Corrêa de Santana pela disponibilidade, atenção, carinho, sabedoria que por muitas vezes não me deixaram desistir. A minha coorientadora Dra. Marta Zotarelli que junto ao meu orientador, de forma brilhante e com grande empenho conduziram o trabalho dedicando seus conhecimentos, atenção, carinho e tempo à minha orientação.

A minha amiga e parceira de pesquisa Lorrane, que fez com que essa jornada fosse mais fácil por seu apoio, ajuda e muitas horas de dedicação no laboratório. Agradeço com grande carinho a sua ajuda indispensável, para realização desse projeto.

Aos demais professores do programa de pós-graduação, muito obrigada por todos os ensinamentos e contribuição para a nossa formação.

À empresa Novo Pomar Produtos Alimentícios Ltda., muito obrigada por fornecer os resíduos e sempre incentivar a pesquisa para aprimoramento de processos e causas ambientais.

## SUMÁRIO

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| LISTA DE TABELAS.....                                           | i   |
| LISTA DE FIGURAS .....                                          | iii |
| RESUMO .....                                                    | v   |
| ABSTRACT .....                                                  | vi  |
| 1 INTRODUÇÃO .....                                              | 1   |
| 1.1 Objetivos .....                                             | 2   |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                   | 4   |
| 2.1 O Desperdício de frutas e geração de resíduos .....         | 4   |
| 2.2 O Morango .....                                             | 7   |
| 2.2.1 Produção de morango no Brasil e no mundo .....            | 8   |
| 2.3 Higroscopicidade .....                                      | 12  |
| 2.4 Atividade de água (aw).....                                 | 13  |
| 2.5 Secagem.....                                                | 14  |
| 2.5.1 Secagem convectiva (CD).....                              | 16  |
| 2.5.2 <i>Cast-tape drying</i> (CTD) .....                       | 16  |
| 2.5.3 Liofilização.....                                         | 19  |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS .....                                      | 21  |
| 3.1 Obtenção da amostra de resíduo de morango .....             | 21  |
| 3.2 Preparo das amostras de resíduo de morango .....            | 21  |
| 3.3 Secagem por liofilização.....                               | 22  |
| 3.4 Secagem por <i>cast-tape drying</i> .....                   | 23  |
| 3.4.1 Cinética de secagem por <i>cast-tape drying</i> .....     | 24  |
| 3.4.2 Medida da temperatura .....                               | 25  |
| 3.5 Secagem convectiva com ar quente.....                       | 26  |
| 3.5.1 Cinética de secagem para secagem convectiva com ar quente |     |

|         |                                                                                                        |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6     | Planejamento experimental .....                                                                        | 27 |
| 3.7     | Caracterização do resíduo <i>in natura</i> e seco .....                                                | 31 |
| 3.7.1   | Umidade .....                                                                                          | 31 |
| 3.7.2   | Cor instrumental.....                                                                                  | 32 |
| 3.7.3   | Higroscopicidade .....                                                                                 | 33 |
| 3.7.4   | Atividade de água.....                                                                                 | 34 |
| 3.7.5   | Tamanho de partícula .....                                                                             | 34 |
| 3.7.6   | Composição centesimal .....                                                                            | 35 |
| 3.7.7   | Análise química de metais.....                                                                         | 35 |
| 4       | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                                                          | 35 |
| 4.1     | Caracterização do resíduo de morango <i>in natura</i> .....                                            | 35 |
| 4.1.1   | Composição mineral .....                                                                               | 36 |
| 4.1.2   | Composição centesimal .....                                                                            | 39 |
| 4.2     | Caracterização do resíduo de morango seco .....                                                        | 40 |
| 4.2.1   | Caracterização físico-química do resíduo de morango seco por<br>liofilização                           | 40 |
| 4.2.2   | Caracterização físico-química do resíduo de morango após<br>secagem por CTD e secagem convectiva ..... | 47 |
| 4.2.2.1 | Higroscopicidade.....                                                                                  | 47 |
| 4.2.2.2 | Atividade de água .....                                                                                | 50 |
| 4.2.2.3 | Cor .....                                                                                              | 53 |
| 4.2.2.4 | Distribuição do tamanho médio de partícula .....                                                       | 68 |
|         | CONCLUSÃO.....                                                                                         | 70 |
|         | REFERÊNCIAS .....                                                                                      | 71 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Resíduos de frutas e subprodutos gerados.....                                                                                                                           | 5  |
| Tabela 2 - Fatores e níveis dos planejamentos $3^2$ e $2^3$ .....                                                                                                                  | 28 |
| Tabela 3 - Planejamento Fatorial $3^2$ .....                                                                                                                                       | 28 |
| Tabela 4 -Planejamento Fatorial $2^3$ .....                                                                                                                                        | 29 |
| Tabela 5 -Caracterização do resíduo de morango <i>in natura</i> .....                                                                                                              | 35 |
| Tabela 6-Composição mineral do resíduo de morango <i>in natura</i> no presente estudo e valores de referência de parte comestível do morango encontrado na literatura              | 37 |
| Tabela 7-Composição mineral do resíduo de morango <i>in natura</i> no presente estudo, valores de referência da IN nº75/2020 e porcentagem de valor diário .....                   | 38 |
| Tabela 8-Composição centesimal do resíduo de morango <i>in natura</i> no presente estudo e valores das tabelas de composição centesimal da parte comestível do morango.            | 39 |
| Tabela 9- Resultado da caracterização do resíduo de morango liofilizado.....                                                                                                       | 40 |
| Tabela 10-Tempo de secagem e umidade final para as diferentes condições de temperatura e espessura nos processos de cast-tape drying (CTD) e secagem convectiva com ar quente..... | 43 |
| Tabela 11-Efeitos significativos para o tempo de secagem.....                                                                                                                      | 45 |
| Tabela 12-Higroscopicidade do resíduo de morango seco por cast-tape e por secagem convectiva .....                                                                                 | 48 |
| Tabela 13-Efeitos significativos na higroscopicidade sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....        | 49 |
| Tabela 14-Atividade de água do resíduo de morango seco por cast-tape drying e por secagem convectiva.....                                                                          | 51 |
| Tabela 15-Efeitos significativos da atividade de água sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....       | 51 |
| Tabela 16- Parâmetros de cor do resíduo de morango seco em CTD .....                                                                                                               | 54 |
| Tabela 17- Parâmetros de cor do resíduo de morango seco em estufa convectiva                                                                                                       | 54 |
| Tabela 18- Efeitos significativos para o parâmetro $L^*$ sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....    | 57 |

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 19- Efeitos significativos para o parâmetro $a^*$ sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....                       | 59 |
| Tabela 20- Efeitos significativos para o parâmetro $b^*$ sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....                       | 61 |
| Tabela 21- Efeitos significativos para a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem..... | 62 |
| Tabela 22- Efeitos significativos para a cromaticidade ( $C^*$ ) sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....               | 64 |
| Tabela 23- Efeitos significativos para o ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.....    | 66 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- O morangueiro ( <i>Fragaria x ananassa</i> Duch).....                                                                                                                                                                                              | 7  |
| Figura 2- Vista externa do fruto .....                                                                                                                                                                                                                       | 8  |
| Figura 3- Os dez maiores produtores de morango em 2021 .....                                                                                                                                                                                                 | 9  |
| Figura 4- Quantidade produzida (toneladas x 10 <sup>2</sup> ) e área cultivada (ha) no Brasil entre 2011 e 2021 .....                                                                                                                                        | 10 |
| Figura 5- Estados Brasileiros com maior produção de morangos.....                                                                                                                                                                                            | 10 |
| Figura 6- Resíduo do processamento do Morango.....                                                                                                                                                                                                           | 12 |
| Figura 7- Diagrama esquemático de um sistema de secagem RW <sup>TM</sup> .....                                                                                                                                                                               | 18 |
| Figura 8- Resíduo do processamento de morango.....                                                                                                                                                                                                           | 21 |
| Figura 9- Esquema da unidade de secagem de resíduo de morango por liofilização.<br>.....                                                                                                                                                                     | 22 |
| Figura 10- Esquema da unidade experimental de <i>cast-tape drying</i> .....                                                                                                                                                                                  | 23 |
| Figura 11- <i>Cast-tape dryer</i> com secagem da amostra .....                                                                                                                                                                                               | 24 |
| Figura 12- Resíduo de morango espalhado sobre o filme <i>mylar®</i> (a); e, padronização de espessura dos resíduos (b). .....                                                                                                                                | 25 |
| Figura 13- Pontos de medida de temperatura: destaque em azul para região em que foi monitorada a superfície do <i>Mylar®</i> , e em verde para região em que se monitorou a temperatura do resíduo de morango .....                                          | 26 |
| Figura 14- Secagem convectiva em bandejas (a), resíduo de morango espalhado em <i>Mylar®</i> (b); e, temperatura avaliada 65°C (c) .....                                                                                                                     | 27 |
| Figura 15- Fotografias dos pós do resíduo <i>in natura</i> e dos resíduos liofilizados. ....                                                                                                                                                                 | 41 |
| Figura 16- a) Cinética de secagem do resíduo de morango da variação da umidade (em base seca) em função do tempo (min): a), b) e c) para <i>cast-tape drying</i> e d), e) e f) para secagem convectiva com ar quente, em 65, 75 e 85°C respectivamente ..... | 42 |
| Figura 17- Superfícies respostas para o tempo de secagem em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente .....                                                                                               | 46 |
| Figura 18- Superfícies respostas para a atividade de água em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente .....                                                                                              | 52 |
| Figura 19- Fotografias dos pós do resíduo <i>in natura</i> e dos resíduos produzidos segundo o planejamento experimental em secagem por CTD .....                                                                                                            | 56 |
| Figura 20- Fotografias dos pós do resíduo <i>in natura</i> e dos resíduos produzidos segundo o planejamento experimental em secagem estufa convectiva.....                                                                                                   | 56 |

|                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 21- Superfícies respostas para a Luminosidade ( $L^*$ ) em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente ..... | 58 |
| Figura 22- Superfícies respostas para $a^*$ em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente .....                    | 60 |
| Figura 23- Superfícies respostas para $\Delta E$ em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente .....               | 62 |
| Figura 24- Superfícies de resposta para $C^*$ em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....                     | 64 |
| Figura 25- Superfícies de resposta para $h^9$ em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.....                     | 66 |
| Figura 26- Distribuição granulométrica entre a fração mássica cumulativa e o tamanho de partícula (mm) da amostra de resíduo de morango por diferentes métodos. .... | 68 |
| Figura 27- Resíduo de morango seco com presença de grande quantidade de sementes.....                                                                                | 69 |

## RESUMO

O setor agrícola e alimentício descarta bilhões de toneladas de alimentos que poderiam ser destinados ao consumo humano. As empresas desses setores, visando diminuir o impacto ambiental e os desperdícios, vêm investindo no aproveitamento de resíduos. Agroindústrias que processam frutas geram resíduos ricos nutricionalmente que podem ser aproveitados de várias formas, diminuindo inclusive os custos operacionais. Os resíduos possuem elevada umidade, o que favorece sua deterioração, e devem ser submetidos a métodos de conservação para seu melhor aproveitamento. Os processos de secagem podem ser utilizados para a formação de pós e farinhas de acordo com a aplicação desejada. As pesquisas para análise nutricional de resíduos de frutas são crescentes, porém a literatura não apresenta dados para a produção a partir de resíduos de morango processados. Esse fruto possui um grande potencial para produzir pós e extratos ricos em compostos bioativos. O objetivo desse trabalho foi investigar a secagem do resíduo de morango por diferentes métodos como Cast-tape drying (CTD), Freeze-drying (FD) e Convective drying (CD), em busca das melhores condições operacionais e métodos mais adequados com benefício da preservação das propriedades nutricionais e aproveitamento eficaz para aplicação industrial de subproduto. Os pós do resíduo de morango foram caracterizados realizando as análises de umidade, higroscopicidade, cor, atividade de água e distribuição de tamanho de partícula. Como resultados obtidos a cor do pó liofilizado se destaca demonstrando manter o parâmetro  $a^*$  próximo ao do *in natura*. Foi possível secar o resíduo nos três diferentes métodos de secagem, e assim mantendo boas propriedades bioativas. A caracterização do resíduo em pó indicou que há possibilidade de aplicações do pó, viabilizando a preservação com possíveis chances comerciais e de boa qualidade.

**Palavras-chave:** Frutas. Resíduo. Secagem. Subprodutos.

## ABSTRACT

The agricultural and food sector throw away billions of tons of food that could be destined for human consumption. Companies in these sectors, aiming to reduce the environmental impact and waste, have been investing in the use of waste. Agro-industries that process fruit generate nutritionally rich residues that can be used in various ways, even reducing operating costs. The residues have high humidity and must be subjected to conservation methods for their best use. Heat treatments are used to form powders and flours according to the desired application. Researches for nutritional analysis of fruit residue are increasing, but the literature does not present data to produce powders from processed strawberry residues. This fruit has great potential to produce powders and extracts rich in bioactive compounds. The objective of this work is to investigate the drying of strawberry residue by different methods such as *Cast-tape drying* (CTD), *Freeze-drying* (FD) and *Convective drying* (CD), in search of the best operational conditions and most appropriate methods with the benefit of preserving nutritional properties and effective use for industrial application of by-product. Strawberry residue was characterized by analyzing moisture, hygroscopicity, color, water activity and particle size distribution analyses. As results obtained, the color of the freeze-dried powder is notable for maintaining the  $a^*$  parameter close to that of the in natura. It was possible to dry the residue in the three different drying methods, thus maintaining good bioactive properties. The characterization of the powdered residue indicated that there is a possibility of applications of the powder, enabling preservation with possible commercial chances and good quality.

**Key words:** Flour. Fruits. Residue. Drying. By-products.

## 1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de um processo de produção quando submetidos a operações que viabilizem sua utilização como materiais de valor, se tornam um subproduto da matéria-prima inicial ou do produto principal de um seguimento industrial. Os setores de processamento de frutas e vegetais estão entre os principais geradores de resíduos com maiores potenciais nutricionais para aproveitamento como subproduto, o que quando ocorre, evita perdas e aumenta o valor de toda a matéria-prima (ESPARZA et al., 2020; FERREIRA et al., 2015). Nesse caso, os resíduos gerados pelo processamento de frutas e vegetais incluem bagaço, sementes, cascas e caules, que são ricos nutricionalmente podendo apresentar fibras, vitaminas, carotenoides e compostos fenólicos, possibilitando seu uso para a fabricação de muitos ingredientes funcionais (PATHANIA; KAUR, 2022).

Neste sentido, esses materiais podem ser utilizados como corantes, aditivos, aromatizantes, antioxidantes, antimicrobianos e como alimentos funcionais (AYALA-ZAVALA et al., 2011). Em vista disso, os resíduos do processamento de frutas são atrativos para estudos, pois aliados a constante busca por estilos de vida saudáveis, redução do impacto ambiental e aproveitamento integral dos frutos, torna as pesquisas e desenvolvimento de subprodutos originados de resíduos industriais extremamente importantes (FAO, 2019; ESPARZA et al., 2020).

O morango tem merecido destaque no setor de fruticultura, por ser um fruto rico em compostos fenólicos e por possuir propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (GIAMPIERI et al., 2012; ÖZCAN; HACISEFEROGULLAN, 2007; SOUZA et al., 2014). Os resíduos do processamento do morango, principalmente para obtenção de polpa congelada, possuem um grande potencial como subprodutos, podendo gerar farinhas e extratos ricos em compostos bioativos (FREITAS et al., 2016; VILLAMIL-GALINDO et al., 2020).

A secagem é um método de conservação eficaz e representa uma alternativa para alimentos muito perecíveis, resultando em produtos ou ingredientes alimentícios estáveis e microbiologicamente seguros. Os produtos secos podem reduzir custos de embalagem, armazenamento e transporte, além disso aumentam a estabilidade e disponibilidade por maiores períodos e agregam valor ao produto final (PESSOA et al., 2011; ZOTARELLI; PORCIUNCULA; LAURINDO, 2012). Esse

método de preservação é intensamente pesquisado e aplicado, resultando em muitos métodos e equipamentos de secagem propostos (NEMZER et al., 2018).

As pesquisas relacionadas a caracterização e utilização dos resíduos do processamento de frutas submetidos a processos de secagem possuem grande relevância científica, tecnológica, ambiental, econômica e social (PINTO et al., 2023), porém, embora a literatura apresente significativo número de estudos que visem agregar valor a diferentes resíduos, ainda assim, os dados são insuficientes ou muitas das vezes não permitem uma comparação direta, levando em conta as características intrínsecas do resíduo de cada fruta e as especificidades de cada método aplicado visando ao aproveitamento.

Nesta perspectiva é necessário a investigação de diferentes métodos, equipamentos e condições operacionais de secagem e possíveis pré-tratamentos, buscando, para cada caso, as melhores características do material seco obtido, de forma a conservar características físico-químicas, nutricionais, sensoriais e garantir a segurança alimentar para os produtos desenvolvidos (FELLOWS, 2006; SANTOS et al., 2022).

Diante do que foi mencionado, o morango (*Fragaria x ananassa* Duch) apresenta propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias comprovadas e pesquisadas, porém o resíduo do seu processamento permanece com pesquisas insuficientes relacionadas a sua caracterização e aproveitamento a partir de métodos de conservação como a secagem.

A caracterização do resíduo de morango antes e após a secagem por diferentes métodos, como secagem convectiva (*convective drying*), liofilização (*freeze-drying*) e *cast-tape drying* (ABONYI et al., 2002; CICHELLA FRABETTI et al., 2021), permite a avaliação dos resultados do comportamento dos processos, assim como das propriedades do resíduo submetidos a eles (ZIA; ALIBAS, 2021).

A implementação a nível industrial e valorização dos subprodutos originados de resíduos, dependem dos resultados das pesquisas para maior efetividade na escolha do método de tratamento e das condições de processo com maior preservação de características nutricionais e sensoriais.

## 1.1 Objetivos

Diante desse cenário, o objetivo geral do presente trabalho é caracterizar o resíduo gerado no processo produtivo de polpa de morango antes e após ser submetido à operação de secagem. Em relação aos objetivos específicos da investigação, enfatiza-se:

- Realizar a secagem pelos métodos de *cast-tape drying*, secagem convectiva com ar quente e liofilização;
- Estuda a cinética de secagem do resíduo de morango a fim de analisar o efeito das variáveis de processo (espessura do resíduo de morango e temperatura de secagem) no produto seco obtido, buscando encontrar as melhores condições operacionais, tendo em vista o benefício da preservação de propriedades físico-químicas da matéria-prima;
- Caracterizar o produto seco em relação ao *in natura* (quando possível) quanto à: umidade, atividade de água, higroscopicidade, distribuição de tamanho de partícula, acidez e cor;
- Desenvolver a metodologia adequada para obter um resíduo com conservação de propriedades desejadas, aproveitado de forma eficaz como sugestão para aplicação industrial a partir da redução do descarte desse material.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O Desperdício de frutas e geração de resíduos**

As indústrias de processamento de alimentos passam por grandes desafios na gestão adequada dos resíduos gerados, principalmente no que diz respeito ao descarte adequado e aos impactos ambientais causados. Esse seguimento gera mundialmente cerca de 1,3 bilhões de toneladas de descartes de alimentos e resíduos que poderiam ser destinados ao consumo humano. (SOCAS-RODRÍGUEZ et al., 2021).

O setor agrícola gera um alto volume de resíduos ao longo da cadeia de abastecimento. Cerca de 45% da produção mundial de frutas é desperdiçada a cada ano devido ao manuseio inadequado, transporte, instalações de armazenamento e a alta perecibilidade (FAO, 2019).

A conscientização em relação a degradação do planeta e seus recursos limitados, gera urgência em promover métodos e processos que visem a redução de perdas e melhor aproveitamento das matérias-primas resultando na atenuação de custos de produção, aumento da eficiência do sistema alimentar e consequente investimento na sustentabilidade ambiental (ABUD; NARAIN, 2010; Pimentel et al., 2022).

A FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) em 2011 apresentou a estimativa mais próxima de abranger a perda e desperdício de alimentos em todos os setores alimentícios de forma global. Os relatórios apontaram que aproximadamente um terço das partes comestíveis dos alimentos produzidos para alimentação humana, foram perdidos ou desperdiçados, correspondendo a aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas por ano, sendo o setor de horticultura responsável por 60% de desperdício em comparação aos outros setores (GUSTAVSSON et al., 2011).

O setor de bebidas utiliza frutas e vegetais como matéria-prima e gera toneladas de resíduos das partes não comestíveis (sementes, cascas, folhas) que são ricos em nutrientes e, por isso, apresentam grande potencial de aproveitamento (BATISTA et al., 2023). Os resíduos podem ser aproveitados para o desenvolvimento de subprodutos ricos nutricionalmente, a extração de componentes bioativos e a melhoria nutricional de outros alimentos, o que se mostra uma grande oportunidade

para as indústrias e para o desenvolvimento sustentável (AMAYA-CRUZ et al., 2015; ANDRADE et al., 2019; FERREIRA et al., 2015; PATHANIA; KAUR, 2022; SAGAR et al., 2018).

Produtos como farinhas ricas em fibras, produzidas a partir da secagem de resíduos de frutas são ingredientes que podem ser adicionados a diferentes produtos, melhorando as propriedades nutricionais, assim como o valor dos alimentos processados (RESENDE et al., 2019). Nesta perspectiva, os resíduos de frutas e vegetais (FVB) podem ser transformados em farinhas ricas em fibras e compostos bioativos, com grande valor agregado devido aos benefícios à saúde e à funcionalidade tecnológica (PATHANIA; KAUR, 2022).

A demanda por operações de aproveitamento e valorização dos resíduos industriais é crescente, especialmente porque a maioria os resíduos de frutas possuem antioxidantes e atividades inibitórias da  $\alpha$ -amilase, sugerindo seu potencial como coadjuvantes para diversas doenças crônicas, como a obesidade, além de ser fonte de macro nutrientes, micronutrientes e compostos bioativos (AMAYA-CRUZ et al., 2015; PINTO et al., 2023).

Nesse sentido, pesquisas têm sido realizadas visando o aproveitamento de resíduos agroalimentares para o consumo animal, a extração de compostos bioativos, produção de enzimas e exopolissacarídeos, síntese de bioplásticos e biopolímeros, produção de biocombustíveis, aditivos alimentares, farinhas, barras de cereais, dentre outros (ANDRADE et al., 2020; MATRA et al., 2020; RESENDE et al., 2019; VÁZQUEZ-GONZÁLEZ et al., 2020). A Tabela 1 apresenta alguns estudos realizados com resíduos de frutas, o tratamento utilizado e os subprodutos gerados a partir desses processos.

Tabela 1 - Resíduos de frutas e subprodutos gerados.

| FRUTA                                       | TRATAMENTO                         | SUBPRODUTOS                                                       | REFERÊNCIA                        |
|---------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Acerola, Umbu, Goiaba e Maracujá            | Secagem em estufa à 55°C           | Farinha de resíduo para produção de biscoito                      | Abud; Narain (2010)               |
| Abacate, Banana, Goiaba, Jaca, Manga e Romã | Revisão                            | Aditivos para estabilidade e aumento de vida útil de produtos     | Ayala-Zavala <i>et al.</i> (2011) |
| Laranja, Maracujá e Abacaxi                 | Secagem em estufa à 65°C por 6 h.  | Farinha de resíduo para produção de biscoitos e barras de cereais | Ferreira <i>et al.</i> (2015)     |
| Manga, Goiaba Branca e Pêssego              | Secagem em estufa a 50° C por 24 h | Produtos alimentícios e aditivos                                  | Amaya-Cruz <i>et al.</i> (2015)   |

|                                                                                              |                                                               |                                                                                                 |                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Morango                                                                                      | Secagem em estufa a 50° C por 36 h                            | Farinha de resíduo                                                                              | Freitas; Silva; Silva (2016)     |
| Romã, Tomate e Uvas                                                                          | Extração                                                      | Extrato de moléculas bioativas e antioxidantes das sementes                                     | Durante <i>et al.</i> (2017)     |
| Buriti                                                                                       | Extração e secagem em estufa à 60°C por 24 h                  | Farinha de resíduo                                                                              | Resende; Franca; Oliveira (2019) |
| Sementes de Maçã, Kiwi, Melão, Romã e Laranja                                                | Secagem em estufa 60° C por 40 h                              | Produção de pectina                                                                             | Güzel; Akpınar (2019)            |
| Laranja, Maracujá, Melancia, Alface, Abobrinha, Cenoura, Espinafre, Hortelã, Pepino e Rúcula | Secagem em estufa a 65° C por 6 h                             | Farinha de subprodutos de frutas e vegetais com potencial efeito prebiótico                     | Andrade <i>et al.</i> (2020)     |
| Pitaya                                                                                       | Secagem de bandejas à 60° C                                   | Aditivo para ração animal                                                                       | Matra; Totakul; Wanapat (2020)   |
| Maça                                                                                         | Secagem em equipamento híbrido, solar e elétrico <sup>1</sup> | Farinha de resíduo                                                                              | Gorjanović <i>et al.</i> (2020)  |
| Maracujá                                                                                     | Branqueamento e secagem em estufa à 55°C                      | Pectina para formação de bioplásticos biodegradáveis                                            | Florentino <i>et al.</i> (2022)  |
| Acerola                                                                                      | Liofilização à -40°C e pressão de vácuo de 150µmHg            | Subproduto com potencial para tratar alterações no eixo entero-hepático com dieta hiperlipídica | Batista <i>et al.</i> (2023)     |

<sup>1</sup>Veselinović, N.; Veselinović, M. Solar and electric energy dryers. US2010223807 (A1), 9 September 2010.

O aproveitamento integral da matéria-prima diminui as perdas na disponibilidade de nutrientes essenciais. Deste modo surge a necessidade de aplicar técnicas adequadas de pós-colheita para armazenamento e processamento, com intuito de garantir uma melhor vida útil ao material, reduzir os desperdícios pós-colheita, ampliar a disponibilidade de produtos sazonais e, conseqüentemente, preservar a qualidade do material (FAO, 2019; MARQUES *et al.*, 2007).

Os resíduos gerados podem causar sérios problemas ambientais pela presença de substâncias de alto valor orgânico que são potenciais fontes de nutrientes para microrganismos e representam perda de biomassa e energia exigindo investimentos expressivos em tratamentos para controle do impacto ambiental e poluição. Uma vez que esses resíduos sejam transformados em subprodutos, os impactos na segurança

alimentar e no meio ambiente podem ser minimizados, enquanto o desperdício de recursos naturais é evitado (ABUD; NARAIN, 2010; ESPARZA et al., 2020).

## 2.2 O Morango

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) (Figura 1) é uma planta pertencente à família das rosáceas que são nativas das regiões de clima temperado da Europa e das Américas (ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011). Apesar de os morangos existirem há muito tempo, o morangueiro (*Fragaria x ananassa*) conhecido atualmente é um híbrido de dois morangos silvestres *Fragaria virginiana* e *Fragaria chiloensis*. As espécies originaram-se das Américas, porém o híbrido que conhecemos foi desenvolvido na Europa antes de serem trazidos para os Estados Unidos no final do século 18 (HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2023).

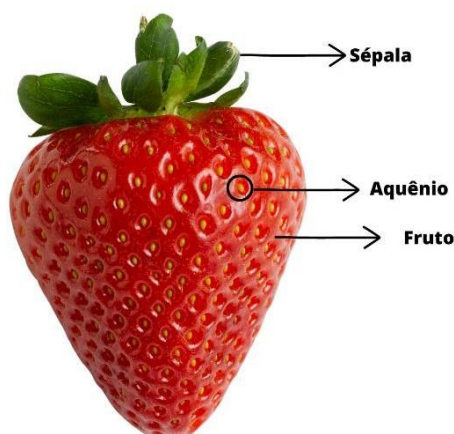
Figura 1- O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch).



Fonte: Embrapa (2022).

O morango é um pseudofruto, pois se origina de uma única flor com vários ovários, cada ovário produz uma fruta. O verdadeiro fruto do morango são os aquênios popularmente conhecidos como sementes conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** (ANTUNES; CARVALHO; SANTOS, 2011). Possui uma grande aceitação pelo mercado consumidor, pois possui coloração, aroma e sabor agradáveis, assim como contém muitos componentes dietéticos importantes (MISRAN et al., 2015; MARAEI AND ELSAWY, 2017) .

Figura 2- Vista externa do fruto.



Fonte: Autoria própria (2022).

Esse fruto destaca-se por apresentar vitaminas (vitamina C, vitamina A, vitamina E, vitamina B6, vitamina k), minerais (manganês, magnésio, ferro, fósforo), ácidos graxos, ácido fólico, fibras, polifenóis e flavonoides, com as antocianinas sendo o tipo mais predominante (MARTINSEN; AABY; SKREDE, 2020; VÁZQUEZ-GONZÁLEZ et al., 2020). Os compostos bioativos encontrados em sua composição são, principalmente, ácidos orgânicos e polifenóis (taninos, flavonoides) (MILLER et al., 2019; SKROVANKOVA et al., 2015).

### 2.2.1 Produção de morango no Brasil e no mundo

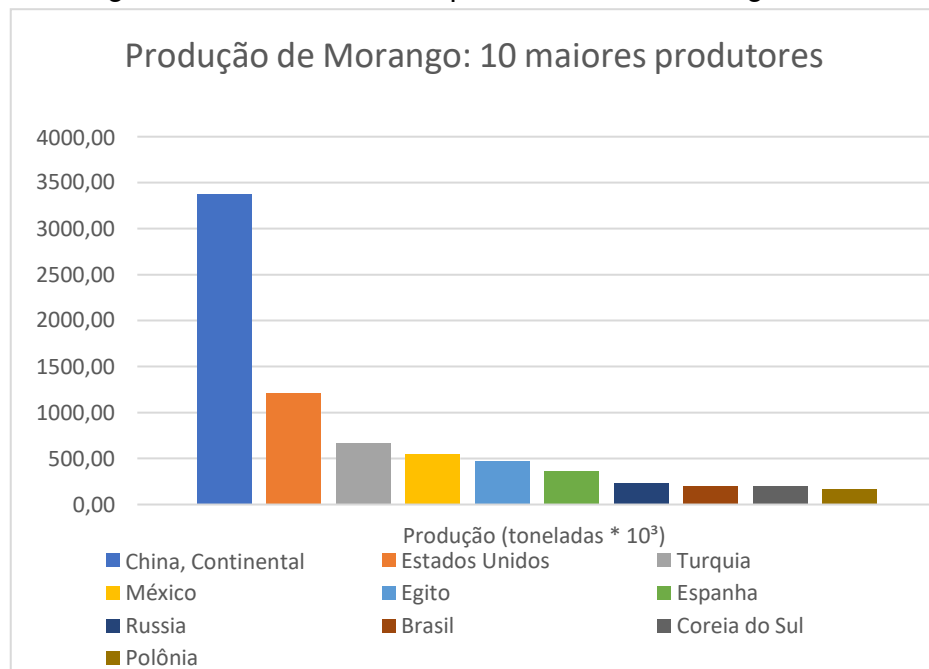
O morango tem características atrativas aos consumidores, entretanto é uma fruta altamente perecível e frágil (MARAEI AND ELSAWY, 2017). Portanto, o processamento do morango é uma estratégia essencial e interessante para agregar valor, produzir novos produtos, aumentar a vida útil e reduzir as perdas pós-colheita (ANTUNES et al., 2016; BHAT; STAMMINGER, 2015).

Segundo as informações do Banco de Dados Estatísticos da FAO (2022) a produção anual de morango no Brasil, foi de aproximadamente 197.000 toneladas para o ano de 2021 conforme mostra a Figura 3, representando uma redução de 9,99% comparado com o ano de 2020 que apresentou produção de 218.881 toneladas. Antunes, Bonow e Reisser Junior (2022) atribuíram essa redução à queda geral de consumo de alimentos causados pela redução da renda das famílias,

medidas restritivas e isolamento social. Além disso, a falta de insumos para o plantio do morango, ligada a alta dos preços destes insumos desestimularam muitos produtores com consequente queda de produção.

A produção de 2021 no Brasil, correspondeu a 2,14% do valor da produção mundial da fruta, sendo o oitavo maior produtor de morango no mundo. A produção mundial ao contrário da nacional, teve um aumento de aproximadamente 3,16 % quando comparados os anos de 2020 e 2021 (FAOSTAT,2022). Esse aumento na produção mundial pode ser explicado pela recuperação diferente entre países em relação a crise mundial causada pela Covid-19.

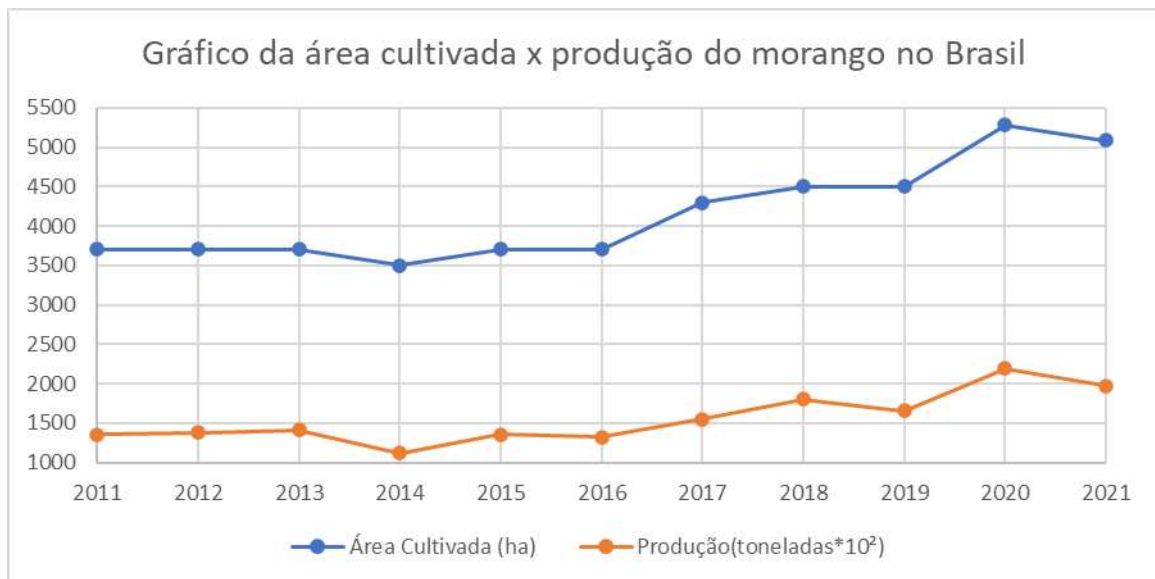
Figura 3- Os dez maiores produtores de morango em 2021.



Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2023).

A área cultivada no Brasil, avaliada em 2020, com a cultura do morangueiro é de aproximadamente 5.300 ha, sendo a produtividade média de cerca de 38,5 t/ha. Nos últimos anos foram alcançados grandes avanços, contudo a produtividade média nacional ainda se encontra abaixo das registradas em países como Estados Unidos e Espanha, que apresentam produtividade acima de 50 t/ha. (ANTUNES; BONOW, 2021). Assim como a produção sofreu redução a área cultivada também foi menor quando comparados 2020 e 2021. A Figura 4 mostra a evolução da produção e da área cultivada no Brasil nos últimos anos.

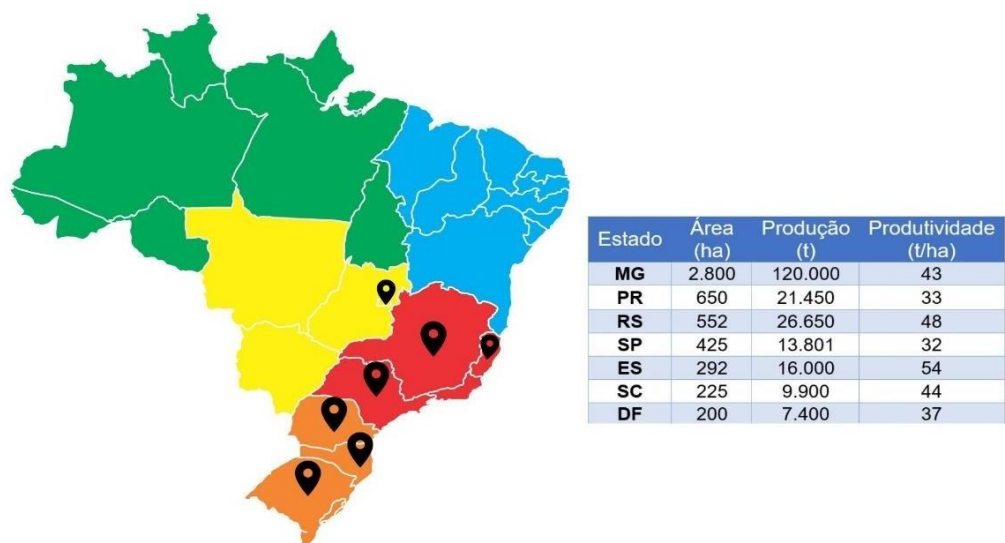
Figura 4- Quantidade produzida (toneladas x 10<sup>2</sup>) e área cultivada (ha) no Brasil entre 2011 e 2021.



Fonte: Adaptado de FAOSTAT (2023).

O maior estado produtor de morango no Brasil é Minas Gerais, que representa mais de 50% de toda a produção do país, em seguida estão os estados do Paraná, Espírito Santo e São Paulo (ANTUNES; BONOW, 2021), conforme é representado na Figura 5.

Figura 5- Estados Brasileiros com maior produção de morangos.



Fonte: Adaptado de Antunes e Bonow (2021).

Antunes (2016) afirmou que mais de 90% da produção nacional é comercializada no mercado interno, na forma fresca que é altamente perecível. O alto consumo na forma fresca impulsiona estudos para o aumento da vida de prateleira do morango, porém existem também outras formas de consumo para a fruta processada em forma de polpas congeladas, sucos, sorvetes, geleias, gelatinas, xaropes, chás, compotas, congelamento individual e liofilização (CICHELLA FRABETTI et al., 2021; KTENIOUDAKI et al., 2022; ZHANG et al., 2020).

Os morangos que não são vendidos na forma fresca ou congelada individual, que apresentam algum defeito na aparência e possuem segurança alimentar, são destinados ao processamento industrial. Na indústria, os morangos passam por avaliação sendo descartados frutos que apresentem podridão, sinais de ataques de pragas ou outros danos e passam por etapas de higienização e seleção antes do processamento (KROLOW, 2012).

A conservação do morango e outras frutas com propriedades semelhantes ao da fruta fresca é um desafio tecnológico (HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ et al., 2023b; YANG et al., 2023), porém algumas alternativas como as polpas congeladas, fruta liofilizada e fruta desidratada, são alternativas do mercado para disponibilizar o produto com maior vida útil e conservando, em parte, suas propriedades nutricionais (ALBUQUERQUE et al., 2021).

As agroindústrias estão investindo no aumento da capacidade produtiva que tem como consequência o aumento na quantidade de resíduos gerados, que são considerados como custos operacionais e, também, um problema para política de gestão ambiental das empresas (FREITAS; SILVA; SILVA, 2016).

O processamento de frutas gera vários tipos de subprodutos, como resíduos de casca, sementes, folhas, caule e polpa. As indústrias de processamento de bebidas produzem cerca de 20-60% da matéria-prima processada resultante em resíduos, que podem mostrar potencial para se tornarem subprodutos ricos em componentes bioativos e nutrientes em geral (AMAYA-CRUZ et al., 2015; AYALA-ZAVALA et al., 2011).

O subproduto mais importante gerado pelo processamento do morango (Figura 6) é o chamado extrudado, que contém um grande número de compostos bioativos de grande interesse, tais como, compostos fenólicos, por exemplo, o ácido elágico, que tem propriedades anticarcinogênicas (GIAMPIERI et al., 2012). Além disso, os aquênios do morango que permanecem no resíduo contribuem para mais do que 41%

do conteúdo antioxidante total e representam 81% dessa capacidade antioxidante (ARIZA et al., 2016).

Figura 6- Resíduo do processamento do Morango.



Fonte: Autoria própria (2022).

Freitas et al. (2016) mostraram que a farinha de resíduo de morango é uma forma de aproveitamento desse resíduo, no estudo o resíduo foi submetido à secagem em estufa convectiva a aproximadamente 50°C. A farinha apresentou resultados significativos em relação a quantidade de minerais como zinco e manganês. Segundo a Instrução Normativa nº75 de 08 de outubro de 2020, que estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional, a farinha produzida nesse estudo pode ser considerada como ótima fonte de zinco e manganês, comparando os valores encontrados ao valor diário de consumo recomendado na legislação (BRASIL, 2020; FREITAS et al., 2016).

Os extratos de subprodutos de morango são fontes de compostos fenólicos com atividade antioxidante e ajudam a retardar o escurecimento enzimático de frutas e vegetais, um problema recorrente nesse tipo de processamento (VÁZQUEZ-GONZÁLEZ et al., 2020; VILLAMIL-GALINDO et al., 2020).

### **2.3 Higroscopicidade**

A higroscopicidade é uma propriedade que torna as substâncias capazes de absorver a umidade do ar. Essa capacidade pode ser encontrada em diferentes produtos e materiais e está ligada a estabilidade física, química e microbiológica de

um alimento, tornando indispensável o estudo do comportamento higroscópico desses produtos (OLIVEIRA; DA COSTA; AFONSO, 2014; TERESHCHENKO, 2015).

A temperatura exerce influência nos resultados de higroscopicidade esse comportamento foi verificado para vários produtos agrícolas como, por exemplo, a fruta sucupira branca (DE OLIVEIRA et al., 2017), sementes de caju (CAETANO et al., 2012), secagem de manga (ZOTARELLI et al., 2017a), secagem de açaí (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

## 2.4 Atividade de água ( $a_w$ )

A atividade de água é um parâmetro essencial na viabilidade e crescimento microbiológico, além de representar estabilidade física e química variando de acordo com a interação dos ingredientes da amostra (BEUCHAT et al., 2013; SABLANI; KASAPIS; RAHMAN, 2007). Alimentos com baixa atividade de água ( $a_w$ ) possuem um *shelf life* maior e podem se manter estáveis por anos. Esses alimentos naturalmente possuem baixa umidade ou são produzidos a partir de alimentos com alta atividade de água que passaram por processos de secagem (OLAIMAT et al., 2020; TENORE et al., 2023).

O conceito de atividade de água indica que os alimentos são mais estáveis em limites críticos, por exemplo, as bactérias não possuem crescimento abaixo de 0,60. A atividade mínima para o crescimento da maioria das bactérias é de aproximadamente 0,87 embora as bactérias halofílicas cresçam em  $a_w$  de aproximadamente 0,75 (BEUCHAT et al., 2013; RAHMAN, 2019).

Em alimentos, a atividade de água foi determinada como a razão entre a pressão de vapor da água em equilíbrio no alimento em relação a pressão de vapor da água pura, mantendo a temperatura (Equação 1). Numericamente a atividade de água varia entre 0 e 1, sendo definida 0 uma amostra isenta de água livre e 1 uma amostra constituída por água pura (PICH, 2019; VAN BOEKEL, 2023).

$$a_w = \frac{p}{p_o} \quad (1)$$

Em que é a pressão de vapor da água em equilíbrio no alimento e  $p_o$  é a pressão de vapor da água pura.

## 2.5 Secagem

Os resíduos gerados em processos agroindustriais, incluindo aqueles oriundos da indústria que processa morango, possuem grande potencial para serem aplicados em diversas indústrias alimentícias, sendo a secagem uma das estratégias mais utilizadas na busca de obter material em pó (e/ou material particulado) com níveis de umidade e atividade de água que possibilitam sua serventia no desenvolvimento de produtos, como farinhas (SANTOS, et al., 2022).

A secagem é uma operação unitária que tem como objetivo principal, a remoção ou diminuição de umidade do produto. É um dos métodos mais antigos empregados para a conservação de alimentos como carnes, frutas e leite. Diversas são as vantagens pertinentes à aplicação da secagem, entre as quais destacam-se: redução da massa do alimento, do custo de transporte e redução das condições para crescimento microbiológico (FELLOWS, 2006), uma vez que diminui a atividade de água.

Os produtos agrícolas frescos, como frutas, vegetais e as folhas, contêm uma alta umidade que influencia diretamente no crescimento de microrganismos. Quando desidratados eles podem ser armazenados por um longo período disponibilizando-os durante todo o ano (BABU et al., 2018). Assim, como método de preservação, a secagem é uma alternativa para processamento de frutas e hortaliças e demais produtos alimentícios, incluindo os resíduos oriundos destes alimentos (ARBALLO et al., 2010; MESTRY et al., 2011). É um processo que reduz a umidade dos alimentos para preservar e melhorar sua vida útil, prolongando sua durabilidade (OKOS et al., 2016). Portanto, por definição, a secagem é a aplicação de calor com condições controladas para retirar a maior parte da água normalmente presente em um material (ou alimento), ocorrendo, simultaneamente, transferência de calor e de massa (LUIZ, 2012).

As vantagens do processo de secagem estão relacionadas, também, à facilidade do transporte e comercialização, pois quando seco o alimento tem reduzidos a massa e o volume (CELESTINO, 2010). Entretanto, é um processo que, geralmente, tem uma demanda energética elevada, além disso, quando realizado sem um adequado controle das condições, pode acarretar perdas nas propriedades físicas e nutricionais do produto seco. As degradações da qualidade, como o encolhimento, a cristalização, a diminuição da capacidade de reidratação e as perdas de sabor, aroma,

cor e valores nutricionais são os principais problemas encontrados a serem minimizados nos diferentes métodos de secagem (FIJALKOWSKA et al., 2016; ZHANG et al., 2016).

São vários os métodos de secagem, que abrangem a secagem solar (ou natural) ou artificial, sendo que ar quente (secagem convectiva) é o meio secante mais utilizados nos secadores artificiais (ou mecânicos). Entre os principais secadores utilizados têm-se secador de bandeja, secador de leito fixo (de fluxo paralelo ou cruzado), secador de leito móvel (secador de tambor rotativo, secador de leito fluidizado), secador de túnel, *spray dryer* (secador por atomização ou pulverização), secador por microondas, secador por infravermelho, liofilizador, dentre outros equipamentos e/ou métodos não convencionais ou inovadores, desenvolvidos mais recentemente, como o *cast-tape dryer* (também chamado na literatura de *refractance window dryer*). O método empregado dependerá, entre outros fatores, do produto que se deseja secar, em termos de sensibilidade e formato dele. Por exemplo, a matéria-prima a ser submetida à operação de secagem pode apresentar distinta composição, estar em diferentes tamanhos de partícula e forma (flocos, grânulos, pós, lâminas ou chapas, suspensões bem diluídas como sucos, pastas, sólidos com granulometria heterogênea com diversas geometrias, como na secagem de alimentos em geral etc). Também, a água a ser vaporizada pode estar na superfície do sólido, totalmente em seu interior, ou ainda parcialmente dentro e parcialmente na superfície. No caso de um produto inteiro ou seco em pedaços (como uma fruta fatiada), geralmente é diretamente consumido, ou, então, pode ser incorporado como ingrediente de outro produto, como as frutas secas que podem ser incorporadas em cereais ou pães, por exemplo. Quando o produto está na forma de pó, na maioria das vezes seu uso pretendido será a reidratação (GAVA et al., 2008).

Considerando a grande diferença de genótipos e ambientes de produção entre diferentes frutas e hortaliças, um estudo abrangente sobre a avaliação da tecnologia de secagem exige trabalhar com vários tipos de produtos. Além disso, além de avaliar os índices de qualidade universais, mudanças nos atributos de qualidade exclusivos de determinadas famílias de produtos podem fornecer uma melhor indicação sobre a resposta do produto à secagem, que é uma área há muito negligenciada. Ainda no que diz respeito às características do produto seco obtido, considerando a grande variedade e ambientes de produção de frutas e hortaliças, avaliar as mudanças nos atributos de qualidade exclusivos de determinadas famílias de produtos podem

fornecer uma melhor indicação sobre a resposta do produto à secagem (NEMZER et al., 2018). Por isso, é necessário que estudos sejam realizados para definir os métodos que melhor se aplicam, visando à preservação da composição nutricional dos resíduos para criação de subprodutos com melhor aplicação no mercado (BABU et al., 2018).

### **2.5.1 Secagem convectiva (CD)**

Na indústria de processamento de alimentos os secadores de bandeja têm grandes vantagens em termos de facilidade e flexibilidade de operação, pois são operados em lotes e o ar quente é fornecido continuamente. O equipamento possui grande versatilidade na secagem de alimentos, utilizando correntes de ar quente como meio secante (SUBRAMANYAM et al., 2017). Kurozawa et al. (2014) estudaram a degradação do ácido ascórbico do mamão durante a secagem em secador de bandejas. Notaram que a temperatura mais alta 70°C, induziu a maiores perdas de nutrientes.

Szadzinska et al. (2016) estudaram o efeito da secagem híbrida de morangos com diferentes métodos, como secagem convectiva, microondas e secagem por ultrassom. Observaram que a aplicação de microondas e ultrassom melhoraram a cinética de secagem, no entanto, ao se combinarem os métodos microondas seguido de ultrassom reduziram significativamente o consumo energético e aumentando a eficiência da secagem.

### **2.5.2 *Cast-tape drying* (CTD)**

A secagem por *cast-tape drying* (CTD) (método também chamado na literatura por *refractance window drying*, (RWD)) é um método relativamente novo, quando comparado aos outros métodos de secagem. É considerada uma inovação, e quando confrontado a outros métodos convencionais, tem se mostrado bastante promissor no que diz respeito ao tempo de secagem e também na qualidade físico-química e sensorial dos produtos obtidos. O material úmido a ser seco é espalhado na face superior de um suporte flexível, geralmente uma película polimérica transparente de pequena espessura (usualmente, o poliéster *Mylar®*), que é aquecida por um fluido quente (água quente ou vapor de água) em sua face inferior, de forma a transferir

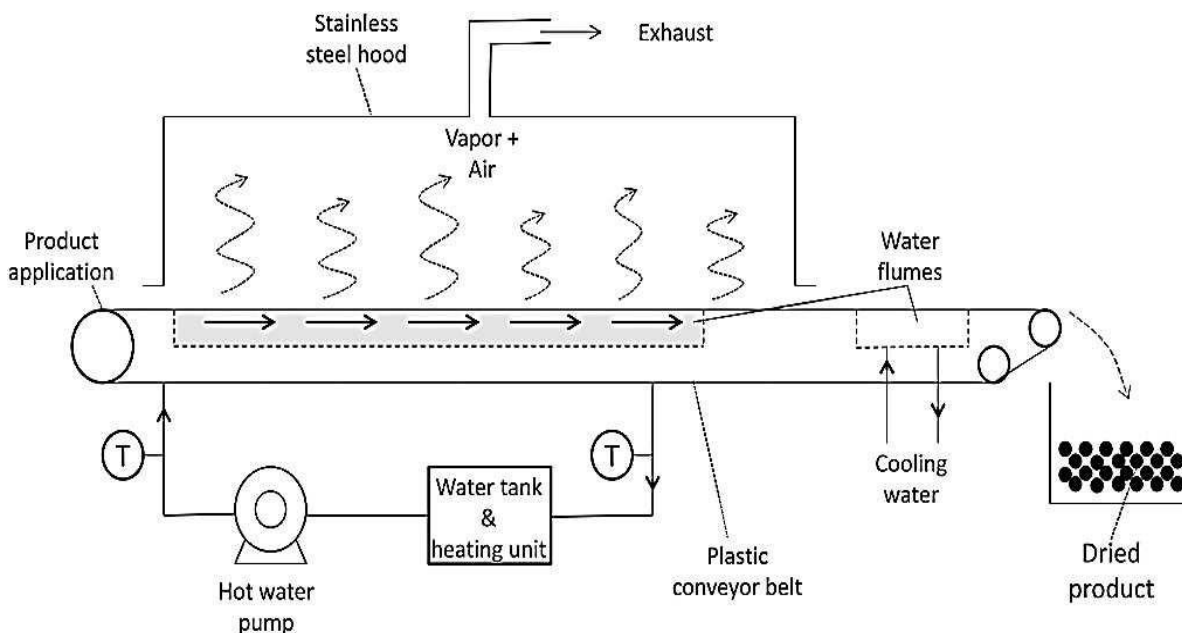
calor para o alimento distribuído na superfície do filme, conduzindo à transferência de umidade do sólido para o ambiente externo (ZOTARELLI et al., 2015). O método tem se desenvolvido nas últimas décadas e tem apresentado crescente aplicação na secagem de alimentos, como frutas, vegetais e carnes, usualmente na forma de pasta (ou fatias). (FRABETTI et al., 2018). A secagem por (CTD) é utilizada para alimentos com o intuito de produzir filmes, flocos, grânulos ou pós. Diante das características da secagem os pesquisadores sugeriram denominar esse método (inicialmente concebido como *refractance window drying*) como *cast-tape drying* (CDT), pois o método é caracterizado por uma fina camada de amostra espalhada, assim como acontece no processo chamado de *tape casting* (JABBARI et al., 2016), para a produção de filmes poliméricos biodegradáveis (ZOTARELLI et al., 2015).

Os três mecanismos de transferência de calor estão presentes no método *cast-tape drying*: a energia pode ser fornecida ao material úmido por condução (através do suporte); convecção (fluxo de ar); ou, por radiação eletromagnética (por meio de suporte ou pelo ar) (DURIGON et al., 2018). O processo de condução se estabelece pela transferência entre o filme polimérico, a convecção na interface água quente e filme e radiação da água através do filme para o material submetido à secagem (TANG, 2007), motivo pelo qual foi inicialmente chamado de *refractance window drying*. Uma vez que se acreditava que a transferência de calor acontecia majoritariamente por radiação, ou seja, a água quente emitiria radiação infravermelha que passaria pelo filme de poliéster como uma janela, quando em sua face superior estivesse espalhada uma substância com umidade elevada. Com a redução de umidade do produto, a janela se fecharia a esse mecanismo de transferência de calor (ABONYI et al., 2002; NINDO et al., 2003a; NINDO et al., 2003b). Entretanto, estudos apontam que a radiação contribui com menos de 5% do calor total transmitido para o processo de secagem, sendo o processo de condução do calor da água aquecida para o filme, o principal mecanismo de transferência presente e, por isso, esses autores sugeriram a nomenclatura de *cast-tape drying* (ZOTARELLI et al., 2015).

A partir da concepção e desenvolvimento do equipamento, esse método de secagem tem sido aplicado para secar polpa de frutas e vegetais, tais como cenoura e morango (ABONYI et al., 2002). Raj e Dash (2022) pesquisou a secagem da pasta de Pitaia com hidrocoloides por método *conductive hydro-drying*, sendo essa outra nomenclatura encontrada na literatura para designar o método de secagem *cast-tape drying* (CTD).

Conforme pode ser visto na Figura 7, esse equipamento é composto por uma esteira, originalmente era utilizado um filme poliéster (Mylar® produzido pela DuPont), mas, outros estudos mostraram que o material da esteira pode ser alterado para outros materiais como o tecido de fibra de vidro com 56% de politetrafluoretileno, comercialmente conhecido por Teflon® (CICHELLA FRABETTI et al., 2021c).

Figura 7- Diagrama esquemático de um sistema de secagem RW™.



Fonte: Nindo et al. (2003); Raghavi et al. (2018).

Durigon et al. (2016) realizaram um estudo que avaliou a cinética da CTD para a produção de pó de tomate utilizando o suco com e sem maltodextrina, comparando as propriedades físico-químicas com pós-produzidos por liofilização (*freeze drying*) e secagem por pulverização (*spray drying*). As análises comprovaram que o suco de tomate com maltodextrina mesmo com maior tempo de secagem no CTD, aumentou a temperatura de transição vítrea, facilitou a remoção dos flocos secos do suporte e apresentou solubilidade superior a 95%. Dessa forma, a secagem de suco de tomate com maltodextrina no CTD, se mostrou uma alternativa viável e tecnologicamente competitiva para a produção de tomate em pó em comparação a secagem no *spray-dryer* que apresentou tendência a aglomeração.

Frabetti et al. (2021) secaram polpa de morango com alguns hidrocoloides como maltodextrina, amido e pectina para produzirem filmes de morango, os pós obtidos apresentaram grandes propriedades de reidratação, com curtos tempos de dispersão e alta solubilidade. Ensaios reológicos mostraram que a solução a ser seca

apresentou comportamento pseudoplástico, o que segundo os autores é ideal para espalhamento no suporte CTD. Os autores também realizaram cinéticas de secagem, observando períodos de taxa constante e decrescente. Outros destaques realizados pelos autores foram uma ligeira diferença de cor do produto seco em relação ao da polpa de morango pura. Os compostos voláteis da polpa do morango foram fortemente modificados pela secagem, com a adição de maltodextrina e pectina, promovendo a preservação de alguns dos voláteis originais do morango.

Desde sua concepção, de acordo com a literatura, o equipamento tem sido estudado e utilizado em diversas aplicações de secagem, com resultados importantes em termos de conservação de propriedades e compostos bioativos. Por exemplo, o *cast-tape dryer* já foi utilizado para secar hidrocoloides de morango, manga (ZOTARELLI et al., 2017; SIMÃO et al., 2019), suco de tomate (DURIGON et al., 2016), polpa de goiaba (FRABETTI; DURIGON; LAURINDO, 2018); *berries* (CELLI et al., 2016; NINDO et al., 2004; NINDO et al., 2007) dentre outros alimentos.

### 2.5.3 Liofilização

A liofilização é um processo de desidratação em baixas temperaturas e pressões no qual a remoção de umidade ocorre por meio de sublimação da água congelada (a partir do alimento previamente congelado) em uma câmara a vácuo. O processo exerce efeito mínimo na qualidade do produto e, por isso, é especialmente adequado para alimentos ricos em compostos bioativos, como é o caso das frutas e seus resíduos. Apesar de apresentar elevado tempo de secagem e alto consumo de energia, pode gerar grandes oportunidades para o uso nas frutas, principalmente se for possível utilizar alternativas para reduzir o custo de energia (MARTÍNEZ-NAVARRETE et al., 2019).

Dentre as vantagens da liofilização sobre os processos convencionais pode-se destacar a preservação das propriedades químicas e físicas do material após a secagem, pois suas condições operacionais não propiciam a degradação oxidativa, a perda de compostos voláteis, desnaturação proteica e degradação de compostos termossensíveis (MARQUES, 2008). Desse modo, apesar dos custos associados, a liofilização se apresenta como um método satisfatório, principalmente no mercado de alimentos processados (CAPARINO, 2000).

Na literatura há relatos de trabalhos que empregaram a liofilização para produzir alimentos em pó. Fongin et al. (2019) estudaram a secagem de polpa de manga por liofilização e avaliaram que os pós liofilizados com maltodextrina, diminuíram a higroscopicidade, reduziram o grau de aglomeração pelas adições de maltodextrina e o aumento da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ).

Que et al. (2008) realizaram um estudo de comparação dos efeitos dos métodos de secagem sobre a farinha de abóbora e concluíram que o método de liofilização reduziu significativamente o escurecimento, além de preservar a vermelhidão das farinhas de abóbora quando comparada a processos de desidratação com uso de temperaturas elevadas. Stępień, Witczak e Witczak (2020) analisaram as propriedades de sorção, transição vítrea e diagramas de estado para pós de abóbora contendo maltodextrina e concluíram que as temperaturas de transição vítrea de todos os pós diminuem com o aumento do teor de umidade, resultado do efeito plastificante da água. Quando foi adicionado maltodextrina ao pó de abóbora houve aumento da transição vítrea e dos valores de temperatura de transição vítrea de concentração máxima de congelamento.

Os pré-tratamentos antes da liofilização, vêm sendo estudados e seus resultados comparados em relação a preservação das características do material seco. Wang et al. (2022) pesquisaram os efeitos de pré-tratamentos com ultrassom (US), *ultra-high pressure* UHP e combinação dos dois anteriores (UHP-US), em relação aos compostos voláteis e sabor de fatias de morango liofilizadas e obteve como resultado a melhoria de sabores críticos para as fatias de morango. Os pré-tratamentos US, UHP, e UHP-S apresentaram melhorias em relação ao aumento do dulçor da fatia de morango desidratada (glicose e frutose) associado a menor acidez (ácido málico e ácido cítrico). Houve aumento significativo de ésteres e compostos voláteis nas amostras US e UHP o que resultou no aumento de notas florais, frutadas e adocicadas.

Xu et al. (2021) realizaram um pré-tratamento osmótico assistido por ultrassom e ultrassom de dupla frequência. Os resultados mostraram que o tempo de secagem das fatias de morango irradiadas por ultrassom foi reduzido e o ultrassom de dupla frequência encurtou o tempo de secagem mais do que o ultrassom de frequência única. Os autores concluíram o ultrassom de dupla frequência foi um método de pré-tratamento eficaz para produzir produtos de morango liofilizados a vácuo de alta qualidade.

### 3 MATERIAL E METÓDOS

#### 3.1 Obtenção da amostra de resíduo de morango

Os resíduos de morango (Figura 8) utilizados nesse estudo foram fornecidos pela agroindústria de Polpa de Frutas: Novo Pomar Produtos Alimentícios Ltda, situada em Presidente Olegário-MG. A espécie de morango utilizada para o processamento foi a *Fragaria x ananassa* Duch cultivada na região sul do estado de Minas Gerais. Os frutos passaram por processo de seleção, sanitização e extração da polpa em despulpadeiras de aço inoxidável, obtendo a polpa de morango e o resíduo constituído pelas partes não comestíveis do fruto, isto é, caule, folhas, sementes e polpa aderida.

Figura 8- Resíduo do processamento de morango.



Fonte: Autoria própria (2022).

#### 3.2 Preparo das amostras de resíduo de morango

As amostras de resíduos foram obtidas após o processamento das frutas, foram acondicionadas na quantidade de 2 kg em sacos de polietileno atóxico. A coleta foi realizada no dia 14/02/2022, totalizando 100 kg de resíduos que foram congelados e armazenados em ultra congelador (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a -60°C. Para a

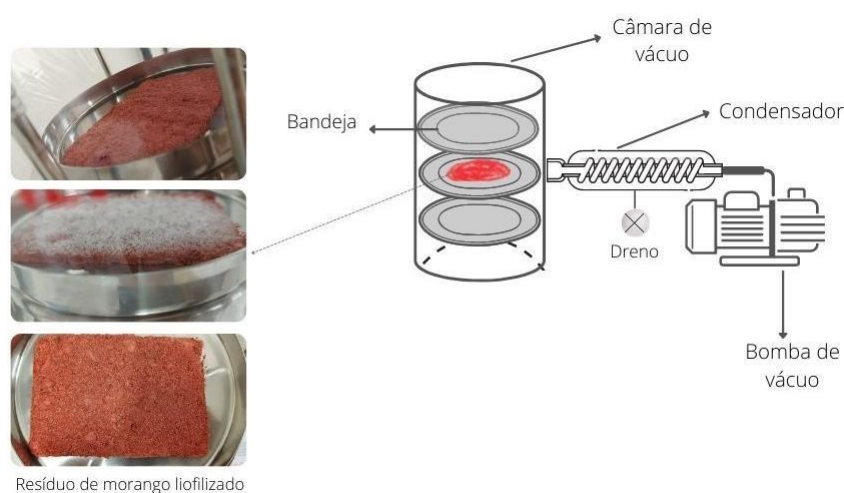
realização dos experimentos, as amostras foram descongeladas em geladeira na temperatura de aproximadamente 10°C (Consul, Brasil) durante 24 h. Após a secagem, para obtenção do pó, as amostras foram desaglomeradas utilizando pistilo e almofariz.

### 3.3 Secagem por liofilização

A desidratação do resíduo de morango por liofilização foi realizada em um liofilizador de bancada (Liobrás, Liotop L101, Brasil) constituído por uma bomba a vácuo de duplo estágio, câmara transparente em acrílico, tampa superior em inox, estante com 4 prateleiras para bandejas e painel em policarbonato e display LCD com indicação de vácuo e temperatura do condensador. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 ilustra o sistema de secagem por liofilização realizado no presente trabalho.

O resíduo de morango foi acondicionado nas bandejas do liofilizador e congelado em ultra congelador (Indrel, modelo IULT335D, Brasil) a -60°C por 24 h. Após esse processo as bandejas foram transferidas para o liofilizador de forma rápida, para evitar o descongelamento. As amostras foram liofilizadas por um período de 24 h sendo que, ao longo da secagem a pressão foi mantida abaixo de 28 mmHg e temperatura abaixo de -50°C. Após a obtenção do produto seco, este foi macerado com auxílio de pistilo e almofariz até redução granulométrica. A Figura 9 ilustra o sistema de secagem por liofilização realizado no presente trabalho.

Figura 9- Esquema da unidade de secagem de resíduo de morango por liofilização.

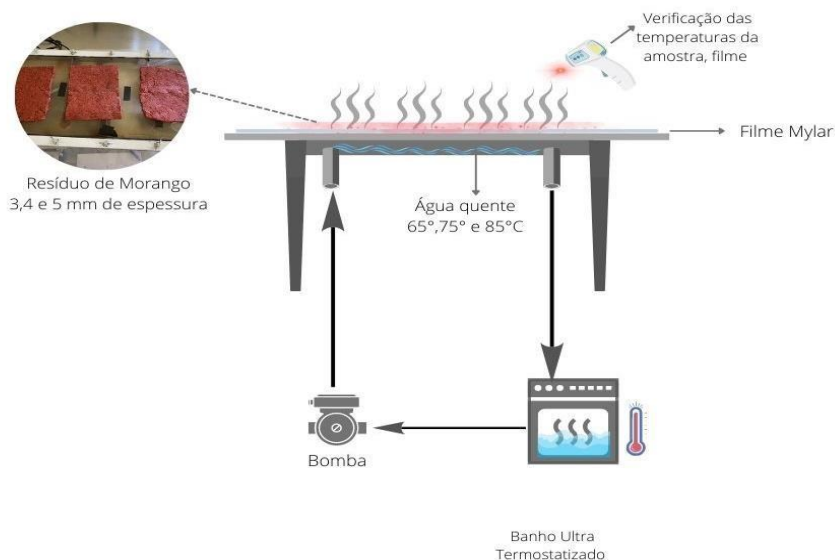


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

### 3.4 Secagem por *cast-tape drying*

Para a secagem das amostras de resíduo de morango foi utilizado o equipamento *cast-tape dryer*, disponível no laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, do curso de Graduação em Engenharia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia Química, no *Campus* Patos de Minas (MG), da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), utilizando o mesmo princípio de funcionamento do equipamento industrial. A unidade experimental utilizada, esquematizada na Figura 10 consistia em um reservatório (dimensões 0,8 m x 0,4 m x 0,05m) com água quente circulando por meio de uma bomba peristáltica (Cole-Parmer, Masterflex® L/S 77250-62, Estados Unidos) e aquecida em banho ultra termostatzado (SOLAB, modelo SL 152/18, Brasil). O filme polimérico transparente *Mylar®* (marca registrada de propriedade da Dupont Teijin Films), de espessura 0,25 mm foi fixado no reservatório, de modo que a superfície inferior do filme ficasse em contato com a água quente e a superfície superior do filme servisse de suporte para o resíduo de morango úmido a ser seco.

Figura 10- Esquema da unidade experimental de *cast-tape drying*.

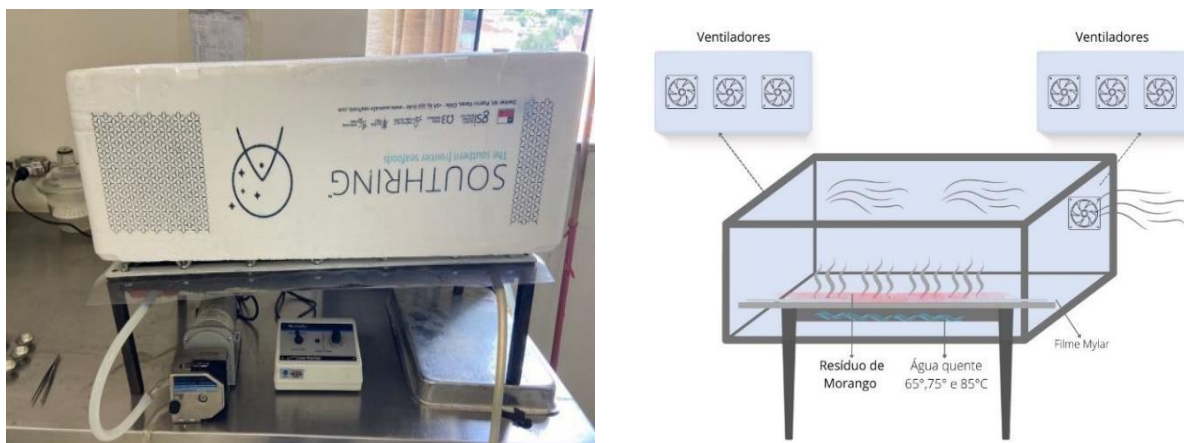


Fonte: Autoria própria (2022).

Foi utilizado um sistema de exaustão em todos os experimentos de secagem, conforme pode ser observado na Figura 11, o que proporcionou uma convecção forçada e auxiliou a retirada da água evaporada estagnada sobre a camada de

material espalhado no secador durante a secagem. O sistema consiste de uma caixa de isopor (dimensões 0,8 m x 0,4 m x 0,30 m) acoplado 6 *coolers* (Cooler Fan Ventoinha 0,08 m x 0,08 m x 0,02 m, tensão 12v), sendo em cada face 3 coolers posicionados.

Figura 11- *Cast-tape dryer* com secagem da amostra.



Fonte: Autoria própria (2022).

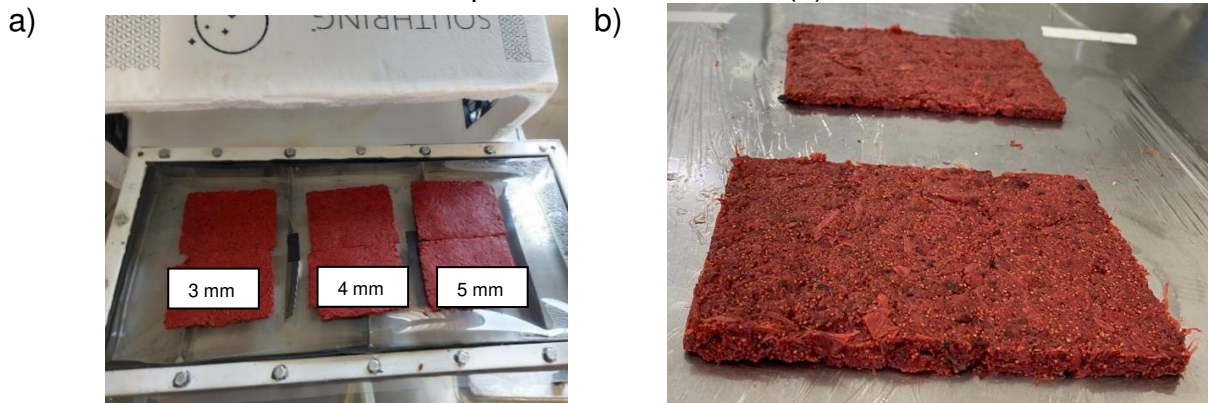
### 3.4.1 Cinética de secagem por *cast-tape drying*

A cinética de secagem dos resíduos de morango secos por *cast-tape drying* foi determinada por meio de retirada de amostras (método destrutivo) em triplicata de pontos distintos da parte central (evitando efeitos de borda) do resíduo espalhado sobre a superfície do *Mylar®*, em intervalos de tempo pré-determinados. Em cada retirada, as amostras coletadas foram pesadas em balança analítica (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil) e a umidade foi determinada conforme metodologia AOAC (2012).

As condições experimentais avaliadas para o processo de secagem foram temperaturas de água circulante 65, 75 e 85°C e espessuras de espalhamento do resíduo de morango de 3, 4 e 5 mm, com exaustão do ar ambiente sobre a camada de material espalhado no secador, conforme Figura 12 (a), evitando assim, estagnação de uma camada saturada e melhorando a taxa de secagem. Nesse sentido, as diferentes combinações possíveis de três condições distintas para cada um dos dois fatores investigados, conduziu à execução de um planejamento fatorial em três níveis. As camadas de resíduo de morango com a espessura definida pelo

planejamento e massa padronizada (b), foram alcançadas utilizando-se moldes de acrílico. Com base na densidade *bulk* do resíduo úmido e nas dimensões dos moldes de acrílico foi definido que seria utilizado em torno de 25 g de resíduo para os experimentos com 3 mm de espessura, 35 g de resíduo para os experimentos com 4 mm de espessura e 45 g de resíduo para os experimentos com 5 mm de espessura.

Figura 12- Resíduo de morango espalhado sobre o filme *mylar*® (a); e, padronização de espessura dos resíduos (b).



Fonte: Autoria própria (2022).

As curvas de secagem são construídas a partir dos dados de umidade em função do tempo e as taxas de secagem são obtidas a partir da derivada destas curvas fornecendo os valores de  $dX/dt$  para determinados tempos de secagem, de acordo com a Equação 2.

$$\dot{R}_s = \frac{-M_s}{A} \cdot \frac{dX}{dt} \quad (2)$$

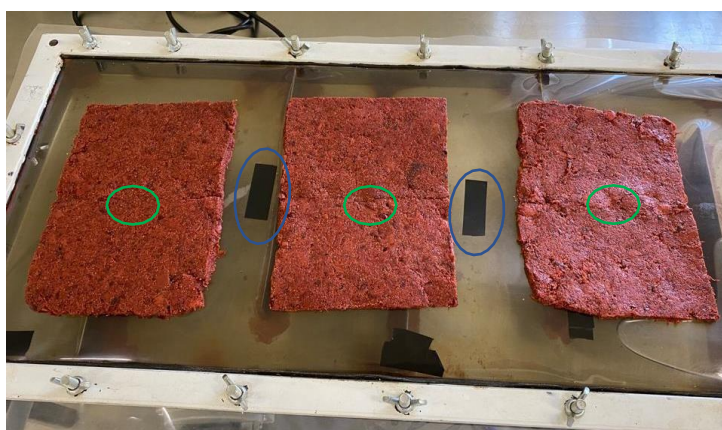
Em que:  $R_s$  é a taxa de secagem [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$ ];  $M_s$  é a massa de sólidos secos [kg];  $A$  é a área da superfície exposta ao ar de secagem [ $\text{m}^2$ ];  $dX/dt$  é a velocidade de secagem em base seca [ $\text{kg água}/(\text{kg sól} \cdot \text{seco} \cdot \text{min})$ ].

### 3.4.2 Medida da temperatura

A medida da temperatura durante o processo de secagem do filme *Mylar*® e da superfície do resíduo de morango em diferentes espessuras foi realizada por meio de termômetro digital portátil infravermelho (Caution, IR Thermometer MT-320, Brasil), com valor de emissividade de 0,95. As medidas de temperatura foram coletadas em

diferentes regiões do resíduo e sobre fitas isolantes pretas colocadas no filme *Mylar*® da unidade experimental do CTD, de acordo com o mostrado na Figura 13. As medidas de temperatura ambiente e umidade relativa do ar foram realizadas com o termo-higrômetro digital (Incoterm, modelo 7663.02.0.00, Brasil) com precisão de temperatura de  $\pm 1\%$  e precisão de umidade relativa de  $\pm 5\%$ .

Figura 13- Pontos de medida de temperatura: destaque em azul para região em que foi monitorada a superfície do *Mylar*®, e em verde para região em que se monitorou a temperatura do resíduo de morango.



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.5 Secagem convectiva com ar quente

A secagem convectiva do resíduo de morango foi realizada em estufa convectiva com circulação forçada de ar quente (a) (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) do Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia na cidade de Patos de Minas.

Assim como no processo de CTD, foram avaliadas temperaturas do meio secante (nesse caso, ar aquecido) de 65, 75 e 85°C (c) e espessura de camada espalhada da pasta de resíduo úmido de 3, 4 e 5 mm. Para padronizar a espessura do resíduo de morango, foi realizado espalhamento com auxílio de molduras retangulares de acrílico de espessuras pré-definidas (b), formando placas/camadas, conforme mostra a Figura 14. Como suporte para as camadas de resíduo úmido que era colocado sobre a bandeja do secador utilizou-se placas poliméricas (veja detalhe na Figura 14 (c)) de *Mylar*®.

Figura 14- Secagem convectiva em bandejas (a), resíduo de morango espalhado em Mylar® (b); e, temperatura avaliada 65°C (c).



Fonte: Autoria própria (2022).

### 3.5.1 Cinética de secagem para secagem convectiva com ar quente

A cinética de secagem foi realizada efetuando a pesagem de cada uma das placas de *Mylar®* contendo/suportando o resíduo nas diferentes espessuras, durante intervalos de tempos. Para cada retirada, as amostras foram pesadas em balança semi-analítica (Shimadzu do Brasil, modelo BL320H, Brasil) e nesse momento foi aferida a temperatura do resíduo.

A umidade inicial das amostras espalhadas sobre as placas foi determinada conforme metodologia descrita 3.6.1.

## 3.6 Planejamento experimental

Os experimentos da secagem do resíduo do morango pelos processos de *cast-tape drying* e secagem convectiva com ar quente em estufa, foram conduzidos de acordo com a metodologia de planejamento fatorial de experimentos (Box et al., 1978), por meio de um planejamento fatorial a três níveis com dois fatores ( $3^2$ ) com duas réplicas no ponto central para cada método, com o objetivo de mensurar os efeitos dos fatores envolvidos no processo (temperatura da fonte de calor e espessura de espalhamento da pasta de resíduo) sobre as variáveis resposta. Por meio da execução dos dois planejamentos  $3^2$  (um para o processo de secagem por *cast-tape*

*drying* e outro para o método de secagem convectiva) foi construído um terceiro planejamento fatorial para a análise dos efeitos, neste caso, um planejamento fatorial a dois níveis com três fatores ( $2^3$ ), acrescentando na análise uma terceira variável independente, além das outras duas investigadas nos planejamentos  $3^2$ . Tal procedimento teve como objetivo quantificar e analisar também o efeito do método de secagem utilizado. Neste planejamento  $2^3$  não foram realizados novos experimentos, isto é, foram utilizados os resultados dos planejamentos  $3^2$  originais.

Na Tabela 2 são apresentados os níveis dos fatores avaliados nos planejamentos fatoriais  $3^2$  e  $2^3$  executados. As faixas experimentais foram definidas de acordo com a revisão da literatura e testes preliminares. Na Tabela 3 é apresentada a matriz dos planejamentos fatoriais  $3^2$  executados, com duas réplicas no ponto central, para os dois métodos de secagem, enquanto que na Tabela 4 é mostrado o planejamento fatorial  $2^3$  analisado.

Tabela 2 - Fatores e níveis dos planejamentos  $3^2$  e  $2^3$ .

| Fator                                         | Planejamento            |                              |       |    |    |
|-----------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------|----|----|
|                                               | $2^3$                   |                              | $3^2$ |    |    |
|                                               | -1                      | +1                           | -1    | 0  | +1 |
| Temperatura do meio secante (°C) ( $X_1$ )    | 65                      | 85                           | 65    | 75 | 85 |
| Espessura da camada a ser seca (mm) ( $X_2$ ) | 3                       | 5                            | 3     | 4  | 5  |
| Método de secagem ( $X_3$ )                   | <i>Cast-tape drying</i> | Secagem convectiva em estufa | *     | *  | *  |

\* não se aplica ao planejamento.  
Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 3 - Planejamento Fatorial  $3^2$ .

| Experimentos | Temperatura do meio secante (°C) ( $X_1$ ) | Espessura (mm) ( $X_2$ ) |
|--------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| 1            | 65 (-1)                                    | 3 (-1)                   |
| 2            | 65 (-1)                                    | 4 (0)                    |
| 3            | 65 (-1)                                    | 5 (+1)                   |
| 4            | 75 (0)                                     | 3 (-1)                   |
| 5            | 75 (0)                                     | 4 (0)                    |

|           |         |        |
|-----------|---------|--------|
| <b>6</b>  | 75 (0)  | 5 (+1) |
| <b>7</b>  | 85 (+1) | 3 (-1) |
| <b>8</b>  | 85 (+1) | 4 (0)  |
| <b>9</b>  | 85 (+1) | 5 (+1) |
| <b>10</b> | 75 (0)  | 4 (0)  |
| <b>11</b> | 75 (0)  | 4 (0)  |

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 4 -Planejamento Fatorial 2<sup>3</sup>.

| <b>Experimentos</b> | <b>Temperatura do meio secante (°C) (X<sub>1</sub>)</b> | <b>Espessura (mm) (X<sub>2</sub>)</b> | <b>Método de secagem (X<sub>3</sub>)</b> |
|---------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>1</b>            | 65 (-1)                                                 | 3 (-1)                                | <i>Cast- type</i> (-1)                   |
| <b>2</b>            | 85 (+1)                                                 | 3 (-1)                                | <i>Cast- type</i> (-1)                   |
| <b>3</b>            | 65 (-1)                                                 | 5 (+1)                                | <i>Cast- type</i> (-1)                   |
| <b>4</b>            | 85 (+1)                                                 | 5 (+1)                                | <i>Cast- type</i> (-1)                   |
| <b>5</b>            | 65 (-1)                                                 | 3 (-1)                                | Convectiva em estufa (+1)                |
| <b>6</b>            | 85 (+1)                                                 | 3 (-1)                                | Convectiva em estufa (+1)                |
| <b>7</b>            | 65 (-1)                                                 | 5 (+1)                                | Convectiva em estufa (+1)                |
| <b>8</b>            | 85 (+1)                                                 | 5 (+1)                                | Convectiva em estufa (+1)                |

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir da análise estatística é possível mensurar os efeitos de cada variável independente nas respostas estudadas. Desta forma, os resultados experimentais de caracterização do resíduo do morango seco foram tratados estatisticamente utilizando o software Statistica (Statsoft Inc., Tulsa, EUA). Assim, a análise estatística realizada para cada um dos 3 planejamentos fatoriais investigados permitiu quantificar nas variáveis respostas analisadas os efeitos relacionados à temperatura da fonte de calor e à espessura de espalhamento da amostra, para os planejamentos fatoriais a três níveis e, além destas variáveis, ao método de secagem no planejamento fatorial a dois níveis). A determinação dos efeitos significativos da regressão foi realizada por meio de um teste de hipóteses (teste *t de Student*) com nível de significância de 10% (foram desconsiderados os efeitos com p-valor maior que 0,1, em que: H<sub>0</sub>, não há diferença na resposta analisada; e H<sub>1</sub>, há diferença na resposta analisada). Para o planejamento

fatorial a dois níveis foram quantificados os efeitos relacionados às variáveis independentes de forma isolada, assim como os efeitos de interação. Já para os planejamentos a três níveis, além dos efeitos principais e de interação entre as variáveis, foram determinados os efeitos quadráticos.

A partir das regressões múltiplas para os planejamentos a três níveis foram obtidas equações empíricas (superfícies de respostas) para melhor visualizar o efeito das variáveis nas respostas. Nesse sentido, através das regressões múltiplas, além de quantificar os efeitos dos fatores, para os resultados dos planejamentos  $3^2$ , parâmetros relacionados às variáveis isoladas, às interações e aos termos quadráticos foram estimados, obtendo um modelo estatístico. Na obtenção dos modelos empíricos, considerando o teste estatístico de F de Fisher, o resultado de F calculado ( $F_c$ ) foi superior ao tabelado ( $F_T$ ), levando em conta um nível de significância de 1 %, para todas as equações construídas. Esta comparação pode ser interpretada através de um teste de hipótese. A hipótese de nulidade ( $H_0$ ) diz que o modelo não é significativo, enquanto que a hipótese alternativa ( $H_1$ ) afirma que o modelo é significativo. Os resultados do teste F mostraram que se pode rejeitar  $H_0$  no nível de significância de 1 %, ou seja, tem-se uma confiança de 99 % que o modelo é significativo. Para as regressões realizadas os resíduos foram distribuídos de forma independente e aleatória de acordo com uma distribuição normal com média zero e variância constante.

As Equações 3 e 4 representam as variáveis independentes investigadas na forma adimensional (codificada). Estas variáveis são:  $X_1$ , que se refere à temperatura do meio secante,  $X_2$ , que se refere à espessura da camada espalhada de pasta do resíduo e  $X_3$  ao método de secagem.

$$X_1 = \frac{T(^{\circ}C) - 75}{10} \quad (3)$$

$$X_2 = E(mm) - 4 \quad (4)$$

A Equação 5, uma equação polinomial quadrática, apresenta a forma da superfície ajustada da resposta estudada em função das variáveis de interesse por meio da metodologia da superfície de resposta (CUNICO, 2008; SANTANA, 2011).

$$Z = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{12}X_1X_2 \quad (5)$$

Em que  $Z$  é a variável dependente (resposta) e  $B_{ij}$  são os coeficientes a serem estimados.

### 3.7 Caracterização do resíduo *in natura* e seco

Foram realizadas análises físico-químicas para verificar o efeito das variáveis de processo (ou da secagem de forma geral) sobre as características do material seco, buscando comparar com o resíduo *in natura*. O resíduo *in natura* (antes da secagem) foi caracterizado por meio de análises de cor instrumental, umidade, composição centesimal, e minerais. As amostras secas foram submetidas às análises de umidade, cor instrumental, higroscopicidade, distribuição de tamanho de partícula, compostos bioativos (fenólicos e flavonoides), acidez e ácido ascórbico.

Para a secagem convectiva com ar quente e por *cast-tape drying* o tempo final de secagem para o qual foram realizadas as análises de caracterização do produto seco foi definido para cada condição do planejamento, a partir dos resultados de cinética, considerando o tempo final aquele alcançado para atingir-se em torno de 10% de umidade. Muitos autores têm discutido sobre qual é a umidade adequada ao armazenamento de alimentos desidratados, sendo que a maioria concorda em valores de umidade inferiores a 10% para garantir uma vida útil satisfatória (ANGEL et al., 2009; PICH et al. 2023; REY, 1964).

#### 3.7.1 Umidade

O teor de umidade das amostras foi determinado segundo a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2012). As amostras de resíduo de morango foram coletadas em cadinhos de metal com massa conhecida. Os cadinhos foram aquecidos previamente em estufa convectiva (Nova Ética modelo 402-3D) a 105°C por no mínimo 30 min, evitando contaminação microbiológica, e após esse processo foram resfriados em dessecadores até atingirem a temperatura ambiente. Os cadinhos de metal contendo as amostras de resíduo de morango foram pesados em balança analítica 27 (Shimadzu do Brasil, modelo AUW320, Brasil) e levados para a estufa convectiva (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) a 105 ± 2°C 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 seca e úmida foi calculada por meio das Equações 6 e 7, respectivamente:

$$X_{bs} = \frac{M - M_s}{M_s} \quad (6)$$

$$X_{bu} = \frac{M - M_s}{M} \cdot 100 \quad (7)$$

Em que:  $X_{bs}$  é a umidade do produto em base seca [g água/g de sólidos secos];  $X_{bu}$  é a umidade do produto em base úmida [g água/g sólido úmido];  $M$  é a massa do sólido úmido [g];  $M_s$  é a massa do sólido seco [g].

### 3.7.2 Cor instrumental

A cor é um critério importante para decisão de compra dos consumidores por isso é um critério de importante avaliação nos métodos de secagem (CHONG et al., 2013; ZIA; ALIBAS, 2021). A cor instrumental foi avaliada por refletância com o colorímetro digital (Chroma Meter CR-400, Konica Minolta, Japão), 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 (*Comission International 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

A luminosidade é indicada por  $L^*$  ( $L^*=0$  preto e  $L^*=100$  branco), e as coordenadas cromáticas representadas por  $a^*$  e  $b^*$  definidas por  $a^*$  (+60  $a^*$  = vermelho e - 60  $a^*$  = verde) e  $b^*$  (+ 60  $b^*$  = amarelo e - 60  $b^*$  = azul). 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 a percepção do olho humano em relação as cores. Nesse espaço de cor  $L$  representa luminosidade,  $C^*$  (*chroma* ou cromaticidade) representa saturação e  $h^\circ$  (ângulo de hue) indica o ângulo de tonalidade, representados respectivamente nas equações 8 e 9. (CÖMERT; MOGOL; GÓMEZ-POLO et al., 2015; GÖKMEN, 2020; GILCHRIST; NOBBS, 2016).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (8)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (9)$$

A diferença total de cor quantificada é representada por  $\Delta E$ , que compara os três parâmetros que definem a cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . Quanto menor o valor de  $\Delta E$ , menores são as modificações na cor da amostra conforme Equação 10. Os valores de  $L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$  foram obtidos dos valores encontrados na análise de cor do resíduo *in natura*.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (10)$$

### 3.7.3 Higroscopicidade

A higroscopicidade do produto seco foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações, baseadas no estudo de Tonon et al. (2009). Colocou-se aproximadamente 1 g de cada amostra em cadinhos de porcelana aquecidos previamente em estufa convectiva (Nova Ética modelo 402-3D) a 105 °C por no mínimo 30 min, e resfriados em dessecadores até atingirem a temperatura ambiente.

Em seguida, colocou-se as amostras em um recipiente hermético (dessecador) contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana (7 dias), as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g 100/g) e calculada conforme apresentado na Equação 11.

$$H = \frac{m_{ads}}{M_{ss}} \cdot 100 \quad (11)$$

Em que:  $H$  representa a higroscopicidade (g de umidade adsorvida.100-1 de massa seca);  $m_{ads}$  é a massa de umidade adsorvida (g) e  $M_{ss}$  é a massa de sólidos secos (g).

A massa seca da amostra ( $M_{ss}$ ) é calculada por meio da Equação 12.

$$M_{ss} = (M_s - (M_s \times X_{bu})) \quad (12)$$

Em que,  $M_{ss}$  é a massa de sólidos secos (g),  $M_s$  é a massa total da amostra (massa de água + massa de sólido seco) (g) e  $X_{bu}$  é a umidade em base úmida (g água. g<sup>-1</sup> de massa total da amostra).

#### 3.7.4 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 capsula própria para uso no equipamento cobrindo toda a superfície inferior. A capsula 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 que o valor 1 é atribuído a água pura.

#### 3.7.5 Tamanho de partícula

A distribuição granulométrica e o diâmetro médio de Sauter das partículas foram determinados para a amostra de produto seco, após a desaglomeração delas por meio de moinho de facas (Moinho de facas tipo Willey, modelo STAR FT 50, FOTINOX 2016). Desta forma, amostras de aproximadamente 100 g foram pesadas em balança analítica e colocadas sobre um conjunto de 18 peneiras padronizadas da série Tyler, com faixa de 14 a 325 *mesh*. As peneiras foram colocadas sobre agitador vibratório (Haver & Boecker, modelo Haver EML Digital Plus, Alemanha), durante 10 min sob amplitude de vibração de 2 mm. O diâmetro médio de Sauter foi calculado a partir das frações mássicas de pó retidas em cada peneira, por meio da Equação 13 (CREMASCO, 2012; PEÇANHA, 2014).

$$\bar{D} = 1 / \sum_i \frac{\Delta x_i}{D_i} \quad (13)$$

Em que:  $\bar{D}$  é o diâmetro médio de Sauter;  $\Delta x_i$  é a fração em massa retida em cada faixa;  $D_i$  é o diâmetro médio em cada faixa da distribuição.

### 3.7.6 Composição centesimal

As análises de açúcares totais, extrato etéreo, fibras, proteína e valor energético foram realizadas por laboratório certificado e situado na cidade de Patos de Minas- MG que utilizou metodologia segundo o Instituto Adolfo Lutz et al. (2008).

### 3.7.7 Análise química de metais

A análise química de metais foi realizada a partir do método de espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES iCap Pro – Thermo Fisher Scientific) sendo realizada por laboratório, situado na cidade de Patos de Minas – MG. O ICP-OES é uma técnica de detecção multielementar que utiliza uma fonte de plasma extremamente quente para excitar os átomos ao ponto de emitirem fótons de luz de comprimento de onda característicos e específicos de um determinado elemento. Essa abordagem analítica já foi utilizada para determinação de teores de minerais em sucos de frutas, chá de ervas, frutas processadas (FATHABAD et al., 2018; FERREIRA, 1999; MARGUÍ et al., 2021; MORGANO; QUEIROZ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do resíduo de morango *in natura*

Na Tabela 5, apresentam-se os dados referentes à caracterização do resíduo de morango fresco. Nota-se que o teor médio de umidade no resíduo de morango *in natura* foi de aproximadamente  $78,0\% \pm 0,011$  (b.u), um valor próximo ao obtido por Trujillo-Reyes et al. (2019), que registraram  $85,4\% \pm 0,7$  de umidade ao avaliar os extrudados de morango para a extração de compostos bioativos.

Tabela 5 -Caracterização do resíduo de morango *in natura*.

| Umidade (%)       | Cor               |                   |                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                   | L*                | a*                | b*                | h°                | C*                |
| $78,00 \pm 0,011$ | $11,34 \pm 0,037$ | $13,31 \pm 0,066$ | $10,61 \pm 0,097$ | $38,58 \pm 0,396$ | $17,45 \pm 0,242$ |

Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios  $\pm$  desvio padrão das análises em triplicatas.

Na análise dos resultados de cor do resíduo de morango *in natura*, é importante avaliar os valores do parâmetro  $a^*$  e o ângulo de matiz ( $h^\circ$ ), pois eles indicam a presença da tonalidade vermelha no resíduo. O valor de  $a^*$  encontrado foi de  $13,31 \pm 0,066$ , o que se aproxima dos resultados encontrados por Gössinger et al. (2009), que registraram  $11,1 \pm 2,1$  para morangos frescos antes da pasteurização e  $12,6 \pm 0,3$  para morangos congelados antes da pasteurização.

No que diz respeito ao ângulo  $h^\circ$  de  $38,58 \pm 0,396$ , observou-se uma semelhança com os resultados obtidos para o morango *in natura*. Salazar-Orbea et al. (2023) registraram um valor de 33,77, enquanto Martinsen et al. (2020) relataram um ângulo de 32,4. Essa similaridade nos dados sugere uma uniformidade nas aferições em relação ao ângulo  $h^\circ$  entre o resíduo de morango avaliado neste estudo e as referências anteriores.

Considerando os resultados apresentados, é possível notar que o valor de luminosidade (parâmetro  $L^*$ ) do resíduo de morango foi registrado em 11,34. É importante destacar que quanto maior (positivo) o valor de  $L^*$ , mais clara é a aparência do produto. Em contraste, Salazar-Orbea et al. (2023) encontraram um valor de  $33,77 \pm 0,03$  para esse parâmetro ao analisar morangos *in natura*, o que é significativamente superior ao valor observado no resíduo de morango. Essa discrepância pode ser explicada pela origem das amostras, uma vez que o resíduo é proveniente do processamento industrial da fruta, o que pode impactar diretamente em suas características de luminosidade em comparação com o morango *in natura*.

Na análise, o parâmetro  $b^*$ , que denota a tendência em direção à cor amarela, registrou um valor de  $10,61 \pm 0,097$  que foi maior que o encontrado por Gössinger et al. (2009) de  $6,3 \pm 0,9$  para o morango fresco antes do tratamento térmico e  $6,5 \pm 0,3$  para o morango congelado antes do tratamento térmico. Em relação ao parâmetro  $C^*$ , foi identificado um valor de  $17,45 \pm 0,242$ , indicando a saturação ou intensidade da cor do resíduo de morango.

#### 4.1.1 Composição mineral

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da composição mineral (teores de minerais) verificado no resíduo de morango *in natura* estudado no presente estudo, e valores de referência da parte comestível do morango encontrados na literatura. De acordo com os resultados, a amostra analisada em triplicata, neste trabalho

apresentou quantidades de Be, Cd, Mo, Ni, Sn, Ti, Tl, V inferiores ao limite de quantificação.

Em relação aos resultados para concentração total dos minerais no resíduo de morango *in natura*, quando comparado aos dados encontrados na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011) e com os dados da Tabela de Composição Química de Alimentos (USDA, 2022) para composição da fruta morango, constatou-se que as quantidades de Ca, Cu, Fe, Mg, Mn e Zn encontradas na caracterização do resíduo de morango *in natura* foram superiores às encontradas nas tabelas de composição, já a quantidade encontrada para K foi inferior. As discrepâncias observadas podem ser explicadas, principalmente, pelo tipo de amostra analisada, sendo as tabelas de composição de referência relacionadas a composição da parte comestível do morango e os resultados obtidos no presente trabalho referentes ao resíduo do processamento do morango. Além disso, não podem ser descartadas às diferenças relacionadas as cultivares dos morangos analisados, os fatores climáticos regionais e os tratos culturais.

Tabela 6-Composição mineral do resíduo de morango *in natura* no presente estudo e valores de referência de parte comestível do morango encontrado na literatura.

| Elementos minerais | Presente estudo                     | TACO (2011) | USDA (2022) | Françoso et al. (2008) | Pereira et al. (2018) | Özcan; Haciseferogullar (2007) |
|--------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|
|                    | Espécie de morango                  |             |             |                        |                       |                                |
|                    | <i>Fragaria x ananassa</i> Duch     |             |             |                        |                       | <i>Arbutus unedo</i> L.        |
|                    | Concentração (mg·kg <sup>-1</sup> ) |             |             |                        |                       |                                |
| Alumínio Total     | 8,78                                | -           | -           | -                      | 3,1                   | 20,11                          |
| Bário              | 5,08                                | -           | -           | -                      | 3,0                   | 16,03                          |
| Cálcio             | 679,0                               | 11          | 17          | 198,0                  | 246                   | 4959,02                        |
| Cobalto Total      | 0,5                                 | -           | -           | -                      | -                     | -                              |
| Cobre              | 1,0                                 | 0,06        | 0,035       | 0,3                    | 0,2                   | 1,65                           |
| Cromo              | 0,10                                | -           | -           | -                      | -                     | 2,41                           |
| Estrôncio          | 4,7                                 | -           | -           | -                      | -                     | 5,10                           |
| Ferro total        | 10,12                               | 0,3         | 0,26        | 2,3                    | 7,3                   | 12,15                          |
| Magnésio Total     | 336,0                               | 10          | 12,5        | 122,8                  | 154,0                 | 1315,57                        |
| Manganês Total     | 5,82                                | 0,33        | 0,368       | 0,6                    | 4,1                   | 4,44                           |
| Potássio Total     | 1157,0                              | 184         | 161         | 186,3                  | 1593,0                | 14909,08                       |
| Sódio Total        | 50,76                               | Tr          | <2          | 219,5                  | -                     | 701,26                         |

|       |      |     |      |     |     |      |
|-------|------|-----|------|-----|-----|------|
| Zinco | 2,88 | 0,2 | 0,11 | 0,1 | 1,3 | 8,09 |
|-------|------|-----|------|-----|-----|------|

Fonte: FRANÇOSO et al. (2008); ÖZCAN; HACISEFEROGULLAN (2007); PEREIRA et al. (2018); TACO (2011); USDA (2022).

Conforme observado na Tabela 6, os resultados encontrados para os minerais Al, Ba, Ca, Cu, Fe, Mg e Zn para o resíduo de morango foram superiores aos valores encontrados para o morango em Françoso et al. (2008) e Pereira et al. (2018) que utilizaram a mesma espécie da fruta, já a quantidade de K foi inferior ao valor encontrado por Pereira *et al.*, (2018) e superior ao encontrado por Françoso et al. (2008). Comparado com os resultados encontrados por Özcan; Haciseferogullan, (2007) que analisaram a espécie de morango *Arbutus unedo* L., os resultados de teores de Al, Ba, Ca, Cu, Cr, Sr, Fe, Mg, K, Na e Zn da presente investigação foram inferiores, sendo que apenas a quantidade de Mn ficou próxima aos outros resultados. As diferenças encontradas em relação aos dados apresentados por Pereira et al. (2018) e Françoso et al. (2008) que utilizaram mesma espécie de morangos, podem ser explicadas por diferenças climáticas, manejo, cultivares diferentes e região do plantio. Özcan; Haciseferogullan, (2007) utilizou outra espécie de morango encontrada na região mediterrânea da Turquia, o que acentuou as discrepâncias nos valores encontrados.

Os resultados encontrados comparados aos requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados presentes na Instrução Normativa nº 75, de 8 de outubro de 2020 são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7-Composição mineral do resíduo de morango in natura no presente estudo, valores de referência da IN nº75/2020 e porcentagem de valor diário.

| <b>Elementos Minerais</b> | <b>Presente Estudo (mg/100 g)</b> | <b>VDR (mg) IN nº75/2020</b> | <b>VD% Presente estudo</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Ca                        | 679,00                            | 1000,00                      | 67,9%                      |
| Cr                        | 0,10                              | 35,00                        | 2,86%                      |
| Fe                        | 10,12                             | 14,00                        | 72,28%                     |
| Mg                        | 336,00                            | 420,00                       | 80,00%                     |
| Mn                        | 5,82                              | 3,00                         | 194,00%                    |
| Zn                        | 2,88                              | 11,00                        | 26,18%                     |

Fonte: (BRASIL, 2020)

As quantidades de minerais encontrados nos resíduos de morango *in natura* neste estudo demonstram potencial nutricional de aproveitamento do resíduo de morango no desenvolvimento de produtos para a alimentação humana, pois quando

comparados aos valores de consumo diário atendem às necessidades minerais dos indivíduos e grupos de pessoas com dietas de 2000 kcal. Os minerais manganês (Mg) e Zinco (Zn) tiveram resultados semelhantes aos encontrados por Freitas *et al.* (2016) que avaliaram a presença no produto seco em estufa convectiva a 50°C. Importante destacar que o zinco desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e funcionamento do organismo humano. Este micronutriente participa ativamente em diversos processos vitais para o crescimento e manutenção do organismo. Simultaneamente, o manganês desempenha uma função crucial na regulação dos níveis de glicose no corpo, no metabolismo da ureia e na proteção das células contra danos causados por radicais livres.

#### 4.1.2 Composição centesimal

Na Tabela 8 são mostrados os resultados da composição centesimal obtida para resíduo de morango *in natura*, assim como valores encontrados nas tabelas de composição centesimal para a parte comestível do morango.

Tabela 8-Composição centesimal do resíduo de morango *in natura* no presente estudo e valores das tabelas de composição centesimal da parte comestível do morango.

| <b>Propriedades</b> | <b>Presente estudo</b> | <b>TACO (2011)</b> | <b>USDA (2022)</b> |
|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| Energia (kcal)      | 108                    | 30                 | 36                 |
| Proteínas (g)       | 2,45                   | 0,9                | 0,64               |
| Lipídeos (g)        | -                      | 0,3                | 0,22               |
| Extrato Etéreo (%)  | 3,3                    | -                  | -                  |
| Açúcares Totais (g) | 1,32                   | -                  | -                  |
| Colesterol (mg)     | -                      | -                  | -                  |
| Carboidratos (g)    | -                      | 6,8                | 7,96               |
| Fibra Alimentar (g) | 7,29                   | 1,7                | -                  |
| Cinzas (g)          | -                      | 0,5                | 0,34               |
| Sódio (mg)          | 50,76                  | Tr                 | <0,2               |
| Vitamina C (mg)     | 23,48                  | 63,6               | 59,6               |

Fonte: TACO (2011); USDA (2022).

Conforme observado na Tabela 8, o resíduo de morango *in natura* apresentou composição centesimal divergente aos valores da literatura (TACO, 2011; USDA, 2022). Os valores de fibras, proteínas e valor energético foram superiores ao encontrado nas tabelas de composição centesimal Taco (2011) e Usda (2022). O ácido ascórbico (Vitamina C) se manteve presente no resíduo *in natura*

correspondendo a 23,48% do (VDR) valor de consumo diário recomendado conforme a IN nº 75 de 8 de outubro de 2020 para alimentos em geral, demonstrando bom potencial para o resíduo mesmo após o processamento industrial.

## 4.2 Caracterização do resíduo de morango seco

### 4.2.1 Caracterização físico-química do resíduo de morango seco por liofilização

Na Tabela 9 estão descritos os resultados da caracterização dos pós liofilizados.

Tabela 9- Resultado da caracterização do resíduo de morango liofilizado.

| Parâmetros           | Resíduo Liofilizado |
|----------------------|---------------------|
| Umidade (%)          | 5,90 ± 0,002        |
| L*                   | 16,61 ± 0,73        |
| a*                   | 13,26± 0,71         |
| b*                   | 10,59± 0,31         |
| h°                   | 38,64± 0,92         |
| C*                   | 16,97± 0,73         |
| ΔE                   | 5,32± 0,70          |
| Higroscopicidade (%) | 10,33 ± 3,07        |
| aw                   | 0,227±0,007         |

Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas. Em que: Higo. significa higroscopicidade; aw significa atividade de água.

Observa-se que o valor de umidade dos pós liofilizados foi em média 5,90% ± 0,002 (b.u.). Pode ser notado um valor de higroscopicidade de 10,33%. Mussi; Pereira, (2022) encontrou resultados de higroscopicidade para os pós de jambolão variando entre 10,3% e 18,43%, os pós liofilizados da fruta apresentaram relação com a maturação dos frutos, apresentando maior higroscopicidade para frutos mais maduros, os resultados encontrados no presente trabalho estão semelhantes aos encontrados pelo autor. Em relação a atividade de água dos pós foi observado um valor de 0,227, semelhantes aos encontrados por Mosquera et al., (2012), que obteve resultados de atividade de água variando entre 0,307 e 0,530 ao realizar a secagem da polpa e morangos liofilizados. A cor é um parâmetro importante para os alimentos,

pois está ligado a aceitação do mercado consumidor em relação aos alimentos e está associada a capacidade antioxidante de um alimento. A alteração de coloração em processos de secagem (Figura 15) deve ser avaliada como indicativo da intensidade das condições e métodos de secagem utilizados e podem interferir na aceitação e avaliação sensorial do consumidor (CÖMERT et al., 2022).

Diante dos resultados descritos na Tabela 9, observa-se que o parâmetro  $L^*$  foi de 16,61, pode ser observado que o resíduo após a secagem apresentou um aumento, ou seja, o produto mais claro comparado ao *in natura*. Para o parâmetro  $a^*$  foi observado o valor de 13,26, verificou-se que o resíduo mesmo após a secagem tendeu a manter o valor próximo ao *in natura*, mantendo assim a cor vermelho característica da amostra. O parâmetro  $b^*$  apresentou valor de 10,59, após secagem manteve valor próximo ao *in natura*. Ao que se refere ao parâmetro  $c^*$  apresentou valor de 16,97, podendo assim ser observado a redução da intensidade da cor do pó em comparação ao *in natura*. Para a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) descritos na Tabela 9, pode ser notado que para o pó liofilizado o valor foi de 5,32, vale salientar que a diferença total de cor é importante visando manter a cor natural em produtos secos (PRATHAPAN et al. 2009). A diferença de percepção na cor pode ser notada no caso em que o valor  $\Delta E$  está acima de 3,5 (MOKRZYCKI; TATOL, 2011), dessa forma nota-se que a variação de  $\Delta E$  foi maior que o desejado, ou seja, abaixo do 3,5.

Figura 15- Fotografias dos pós do resíduo *in natura* e dos resíduos liofilizados.

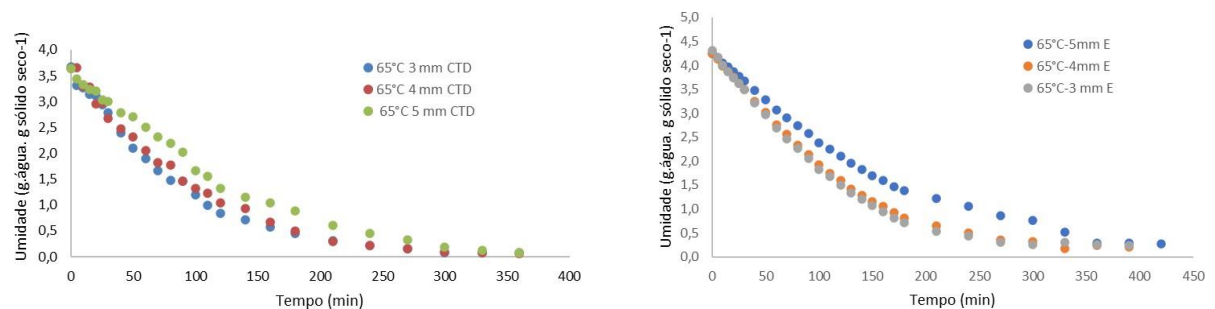


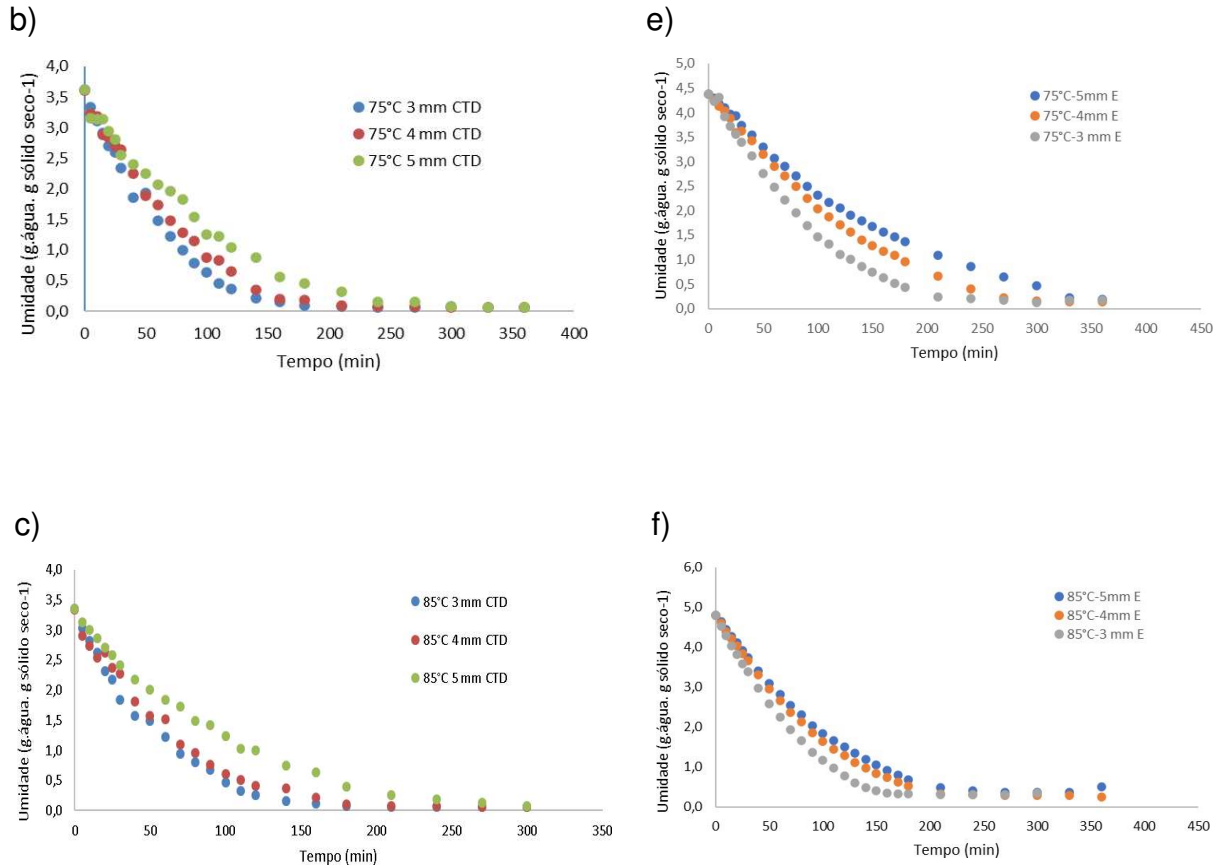
Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.2.2 Cinética de secagem por *cast-tape drying* e por secagem convectiva com ar quente.

As curvas de secagem possibilitam avaliar o comportamento da variação umidade do material em relação ao tempo até atingir a umidade de equilíbrio dinâmico. Mais importante, também permitem determinar o tempo de secagem final necessário para se atingir um valor de umidade desejado e seguro para o material seco. Conforme mencionado anteriormente, na literatura é reportado valores de umidade de alimentos secos abaixo de 10% podem garantir uma vida útil satisfatória (ANGEL et al., 2009; PICH et al. 2023, REY, 1964). Os experimentos realizados para secagem do resíduo de morango seguiram o planejamento fatorial conforme descrito, avaliando a influência da temperatura do meio secante e a espessura do espalhamento da amostra. As curvas de cinética de secagem do resíduo de morango, mostrando a variação da umidade (b.s) em função do tempo de secagem (min), para temperatura da água circulante de 65, 75 e 85 °C e a espessura de espalhamento 3, 4 e 5 mm estão representados na Figura 16.

Figura 16- a) Cinética de secagem do resíduo de morango da variação da umidade (em base seca) em função do tempo (min): a), b) e c) para *cast-tape drying* e d), e) e f) para secagem convectiva com ar quente, em 65, 75 e 85°C respectivamente.





Fonte: Autoria própria (2022).

O tempo de secagem necessário para cada uma das condições aplicadas, foi definido com base na umidade final abaixo de 10%, sendo que seus valores são mostrados da Tabela 10. Após a definição dos valores do tempo realizou-se os experimentos para a caracterização dos produtos secos, sendo que os resultados de umidade final do produto também são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10-Tempo de secagem e umidade final para as diferentes condições de temperatura e espessura nos processos de cast-tape drying (CTD) e secagem convectiva com ar quente.

| Temperatura da fonte de calor (°C) | Espessura (mm) | Tempo (min) |                    | Umidade (%) |                    |
|------------------------------------|----------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
|                                    |                | CTD         | Secagem convectiva | CTD         | Secagem convectiva |
| 65                                 | 3              | 300         | 330                | 7,8 ± 0,015 | 7,5 ± 0,38         |
| 65                                 | 4              | 330         | 360                | 7,6 ± 0,035 | 8,5 ± 0,48         |
| 65                                 | 5              | 360         | 390                | 8,0 ± 0,029 | 8,6 ± 0,51         |
| 75                                 | 3              | 210         | 300                | 8,0 ± 0,006 | 7,3 ± 0,10         |
| 75                                 | 4              | 240         | 330                | 7,8 ± 0,011 | 7,8 ± 0,25         |
| 75                                 | 5              | 300         | 360                | 7,8 ± 0,050 | 8,0 ± 0,09         |
| 85                                 | 3              | 180         | 210                | 7,9 ± 0,018 | 8,1 ± 0,12         |
| 85                                 | 4              | 210         | 240                | 7,5 ± 0,001 | 7,9 ± 0,30         |

|    |   |     |     |                 |                |
|----|---|-----|-----|-----------------|----------------|
| 85 | 5 | 300 | 300 | $7,7 \pm 0,039$ | $6,9 \pm 0,12$ |
| 75 | 4 | 240 | 330 | $7,7 \pm 0,031$ | $7,7 \pm 0,11$ |
| 75 | 4 | 240 | 330 | $7,8 \pm 0,012$ | $7,6 \pm 0,21$ |

Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios  $\pm$  desvio padrão das análises em triplicatas.

A espessura de espalhamento do resíduo de morango e a temperatura do meio secante, nas condições dos experimentos, interferiram na cinética de secagem. A umidade final, conforme definido como parâmetro de finalização da cinética foi sempre em torno (menor) que 10% em ambos os métodos, variando somente 7,7 a 8,0% para CTD e de 6,9 a 8,7% para a secagem convectiva em estufa com circulação forçada. Considerando os baixos valores e variações dentro do desejado, além do fato de ter sido o critério de encerramento do experimento, para a umidade final não foi realizada a análise de regressão para análise efeito das variáveis na nessa resposta.

A menor espessura de espalhamento (3 mm), combinada com a maior temperatura (85 °C) foi a condição que conduziu ao menor tempo de secagem, aproximadamente 180 min para as amostras secas por CTD e 210 min para as amostras secas por secagem convectiva. A menor espessura apresenta menor resistência a transferência de calor e massa, pois a distância para a migração da umidade do interior da amostra até sua superfície é menor. Para as demais espessuras, de 4 e 5 mm, mantendo a mesma temperatura, os tempos necessários foram em torno de 210 e 300 min para as amostras secas por CTD e cerca de 240 e 300 min secas por secagem convectiva com ar aquecido, respectivamente.

A condição que apresentou o maior tempo de secagem foi a espessura de 5 mm associada a temperatura de secagem de 65°C por secagem convectiva com ar quente, para esta condição com 390 min de secagem (tempo máximo em que se realizou os experimentos). Uma camada mais espessa (5 mm) da pasta do resíduo de morango conduziu a uma maior resistência à transferência de calor e transferência de massa (maior distância a ser coberta pela migração de umidade e para a transmissão de calor), efeito intensificado pelo menor gradiente de temperatura verificado com operação com água circulante fornecendo calor no nível inferior de temperatura (65°C). Ainda analisando o tempo de secagem na temperatura mais baixa, 65°C, verificou-se que, nas espessuras de camada de resíduo de morango de 3 e 4 mm, foi necessário para se alcançar a umidade desejada, respectivamente, em torno de 300 e 330 min para secagem por CTD e para secagem convectiva aproximadamente 330 e 360 min.

Em relação a temperatura intermediária de 75°C os resultados foram de 210 min para 3 mm, 240 min e umidade de 7,8% para 4 mm e 300 min e umidade de 7,8% para 5 mm para o processo de CTD. Já na secagem convectiva, nas mesmas condições de temperatura e espessura, foram necessários 300, 330 e 360 min para as espessuras de 3, 4 e 5 mm, respectivamente.

Em todas as condições analisadas foram alcançadas umidades inferiores a 0,09 g de água/ g sólido seco (ou seja, umidades abaixo 10% b.u.) nos tempos de secagem apresentados. Zotarelli et al. (2017) encontrou resultados semelhantes durante a secagem de polpa de manga com umidade abaixo de 10% para os dois métodos de secagem utilizados. De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, observa-se que entre as temperaturas 65°C e 85°C para espessura de 3 mm houve uma diminuição de 60% e 40% no tempo de secagem, para o CTD e secagem convectiva em estufa, respectivamente.

De acordo com a Figura 16 e na Tabela 10, a temperatura da água circulante (65, 75, 85°C), a espessura de espalhamento da amostra (3, 4 e 5 mm) e o método de secagem (CTD e convectiva) tenderam a influenciar no tempo de secagem do resíduo de morango.

Na Tabela 11 para os 3 planejamentos analisados ( $2^3$ ,  $3^2$  para CTD e  $3^2$  para secagem convectiva), são apresentados os valores dos efeitos dos fatores obtidos para o tempo de secagem. Conforme reportado, os experimentos foram realizados considerando os tempos (e demais características) obtidos para umidade final em torno de 10%, dessa maneira não foi realizada a estimativa dos efeitos para a umidade, e tem-se que  $X_1$  é a temperatura da fonte de calor,  $X_2$  a espessura da camada de resíduo de morango e  $X_3$  o método de secagem.

Tabela 11-Efeitos significativos para o tempo de secagem.

| Fonte de variação | Planejamento |         |                |                  |         |                |                              |         |                |
|-------------------|--------------|---------|----------------|------------------|---------|----------------|------------------------------|---------|----------------|
|                   | $2^3$        |         |                | $3^2$            |         |                |                              |         |                |
|                   | Efeito       | p-valor | R <sup>2</sup> | Cast-tape drying |         |                | Secagem convectiva em estufa |         |                |
|                   |              |         |                | Efeito           | p-valor | R <sup>2</sup> | Efeito                       | p-valor | R <sup>2</sup> |
| Média             | 265,00       | 0,0000  | 0,9904         | 240,00           | 0,0000  | 0,9906         | 330,00                       | 0,0000  | 0,9919         |
| $X_1$             | -97,50       | 0,0010  |                | -100,00          | 0,0000  |                | -110,00                      | 0,0000  |                |
| $X_2$             | 82,50        | 0,0016  |                | 90,00            | 0,0000  |                | 70,00                        | 0,0000  |                |
| $X_3$             | 22,50        | 0,0577  |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| $X_1X_2$          | 22,50        | 0,0577  |                | 30,00            | 0,0016  |                | 15,00                        | 0,0498  |                |

|          |   |   |  |       |        |  |        |        |  |
|----------|---|---|--|-------|--------|--|--------|--------|--|
| $X_1X_3$ | - | - |  | *     | *      |  | *      | *      |  |
| $X_2X_3$ | - | - |  | *     | *      |  | *      | *      |  |
| $X_1X_1$ | * | * |  | 60,00 | 0,0274 |  | -50,00 | 0,0005 |  |
| $X_2X_2$ | * | * |  | 30,00 | 0,0117 |  | -      | -      |  |

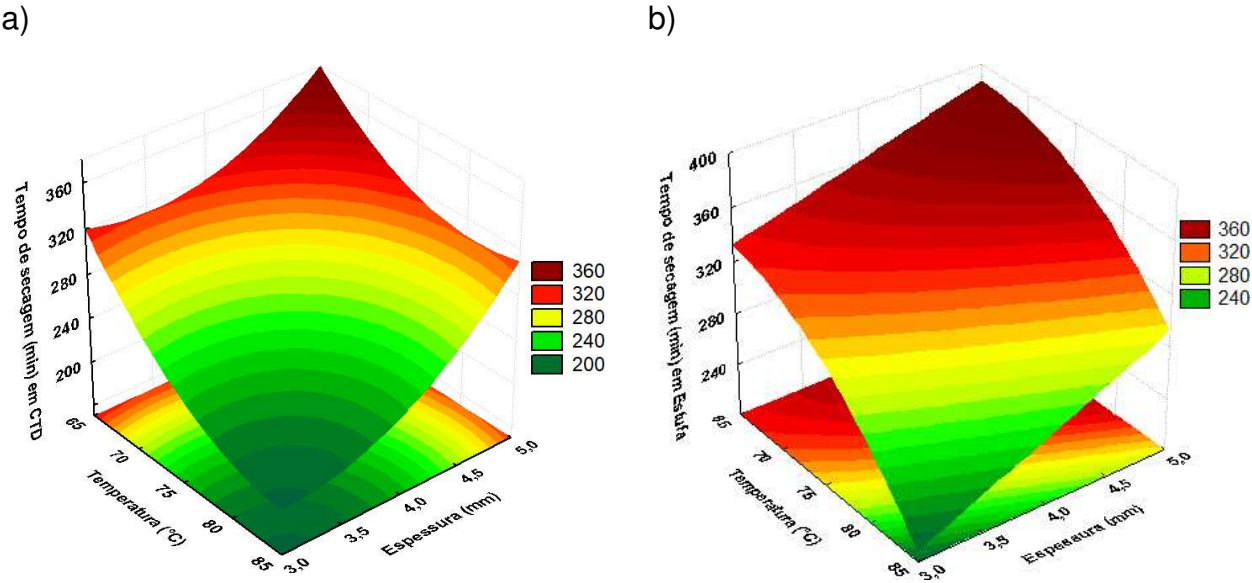
Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (·) efeito com p-valor maior que 0,1.

As equações empíricas obtidas por regressão múltipla para representarem a variação do tempo de secagem em função das variáveis independentes estudadas são apresentadas nas Equações 14 e 15, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e estufa convectiva. Para melhor visualizar os efeitos dos fatores (Tabela 11), as superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 17.

$\hat{y}_1 = 240,00 - 50,00X_1 + 45,00X_2 + 30,00X_1X_1 + 15,00X_2X_2 + 15,00X_1X_2$  (14)

$\hat{j}_1 = 330,00 - 55,00X_1 + 35,00X_2 - 25,00X_1X_1 + 7,5X_1X_2$  (15)

Figura 17- Superfícies respostas para o tempo de secagem em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente.



Fonte: Autoria própria (2023).

Conforme apresentado na Tabela 11, analisando os resultados obtidos a partir do planejamento 2<sup>3</sup>, verifica-se que os três fatores investigados apresentaram efeito significativo no tempo de secagem. Por meio dos efeitos estimados, observa-se que a temperatura foi a variável que afetou de forma mais intensa. Destaca-se ainda que o método de secagem se mostrou significativo de forma isolada, sendo que o sinal positivo de seu efeito principal indica a tendência de menor tempo no método de *cast-tape drying*, ou seja, esse efeito indica que o tempo de secagem tenha tendido a diminuir com a mudança do nível “-1” (*cast-tape drying*) para o nível “+1” (secagem convectiva em estufa). O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressão obtido foi de 0,9805.

Analogamente, por meio dos planejamentos em três níveis para os dois distintos métodos de secagem, nota-se que temperatura e espessura influenciaram no tempo de secagem de forma isolada, e por meio de interação e termo quadrático, sendo que o efeito mais intenso na secagem convectiva e por CTD foi o efeito principal da variável temperatura. Nesse sentido, os modelos empíricos e suas superfícies de resposta mostram que o tempo da operação foi mais curto associando menores espessuras e temperaturas mais elevadas. Em geral, devido a intensidade do efeito da temperatura e de seu sinal negativo, observa-se que um aumento na espessura tendeu a conduzir em incremento no tempo de secagem. No que diz respeito ao impacto da espessura, embora ele não possa ser representado somente pelo sinal do efeito principal, devido à intensidade dos efeitos de interação e/ou quadrático em comparação com esse efeito da variável isolada, seu sinal positivo, indica que um aumento de um nível inferior para outro superior desse fator, resultou em tendência de secagens mais longas. Para os planejados 3<sup>2</sup>, (para *cast-tape drying* e secagem convectiva com ar aquecido) os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram de 0,9906 e 0,9919, respectivamente.

#### **4.2.2 Caracterização físico-química do resíduo de morango após secagem por CTD e secagem convectiva**

##### **4.2.2.1 Higroscopicidade**

Alimentos desidratados ricos em açúcares como as frutas, possuem características sensíveis as condições ambientais e são suscetíveis a danos devido à higroscopicidade (MOSQUERA et al., 2012; ZOTARELLI et al., 2017).

Na Tabela 12 encontram-se os valores da higroscopicidade para o resíduo de morango seco por *cast-tape drying* e por secagem convectiva com ar quente, obtidos em diferentes condições de processo de acordo com os experimentos do planejamento experimental.

Tabela 12-Higroscopicidade do resíduo de morango seco por cast-tape e por secagem convectiva.

| Temperatura da fonte<br>de calor<br>(°C) | Espessura<br>(mm) | Higroscopicidade (%) |                    |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|
|                                          |                   | CTD                  | Secagem convectiva |
| 65                                       | 3                 | 10,78 ± 0,004        | 11,42 ± 0,080      |
| 65                                       | 4                 | 10,77 ± 0,003        | 10,59 ± 0,002      |
| 65                                       | 5                 | 10,54 ± 0,001        | 12,32 ± 0,004      |
| 75                                       | 3                 | 11,16 ± 0,005        | 13,28 ± 0,003      |
| 75                                       | 4                 | 10,93 ± 0,005        | 13,13 ± 0,003      |
| 75                                       | 5                 | 11,48 ± 0,010        | 13,21 ± 0,002      |
| 85                                       | 3                 | 12,18 ± 0,010        | 13,76 ± 0,003      |
| 85                                       | 4                 | 11,01 ± 0,003        | 14,20 ± 0,004      |
| 85                                       | 5                 | 11,74 ± 0,005        | 14,26 ± 0,005      |
| 75                                       | 4                 | 11,55 ± 0,003        | 13,00 ± 0,001      |
| 75                                       | 4                 | 11,11 ± 0,001        | 13,03 ± 0,002      |

Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12, o menor valor encontrado para secagem por CTD foi de 10,54%, encontrado na condição 65 °C a 5 mm e por secagem convectiva o menor valor (10,59%) foi obtido na condição 65 °C a 4mm. Os valores máximos foram encontrados para o CTD na condição de 75 °C a 5 mm (12,18%) e para secagem convectiva o valor máximo de higroscopicidade foi encontrado na condição 85 °C a 5 mm.

GEA (2005) determinou a classificação da higroscopicidade de pós sendo os pós não higroscópicos aqueles que possuem valores abaixo de 10%, levemente higroscópicos valores entre 10,1% e 15%, higroscópicos para valores 15,1% e 20%, muito higroscópicos para valores entre 20,1% e 25% e extremamente higroscópicos, pós com valores acima de 25%. Dessa forma, os valores obtidos para a secagem por *cast-tape* e estufa se enquadram como levemente higroscópicos, pois os valores variam entre 10,54% a 14,26%.

Os resultados obtidos para os dois métodos de secagem estão próximos aos encontrados por Caparino et al., (2012). Esses autores observaram que altas temperaturas produziram pós mais higroscópicos avaliando pós de manga desidratados por diferentes métodos, em que a higroscopicidade variou entre 16,5% a 20,1%. Os valores de higroscopicidade encontrados para os resíduos de morango demonstraram comportamento semelhante ao encontrado pelos autores, com aumento da higroscopicidade em relação a temperatura. Esse comportamento também foi observado por outros autores utilizando diferentes frutas (MAHANTI et al., 2021; OJEDIRAN et al., 2021; SHUEN et al., 2021).

Na Tabela 13 estão apresentados os valores dos efeitos significativos obtidos para a higroscopicidade para os 3 planejamentos analisados ( $2^3$ ,  $3^2$  para CTD e  $3^2$  para secagem convectiva).

Tabela 13-Efeitos significativos na higroscopicidade sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Fonte de variação             | Planejamento |         |        |                  |         |        |                              |         |        |
|-------------------------------|--------------|---------|--------|------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
|                               | $2^3$        |         |        | $3^2$            |         |        |                              |         |        |
|                               | $R^2$        |         |        |                  |         |        |                              |         |        |
|                               | Efeito       | p-valor | $R^2$  | Cast-tape drying |         |        | Secagem convectiva em estufa |         |        |
|                               |              |         |        | Efeito           | p-valor | $R^2$  | Efeito                       | p-valor | $R^2$  |
| Média                         | 12,13        | 0,0000  | 0,9906 | 11,23            | 0,0000  | 0,8401 | 12,98                        | 0,0000  | 0,9192 |
| X <sub>1</sub>                | 1,72         | 0,0011  |        | 1,25             | 0,0123  |        | 2,63                         | 0,0008  |        |
| X <sub>2</sub>                | -            | -       |        | -                | -       |        | -                            | -       |        |
| X <sub>3</sub>                | 1,63         | 0,0013  |        | *                | *       |        | *                            | *       |        |
| X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | -            | -       |        | -                | -       |        | -                            | -       |        |
| X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | 0,42         | 0,0560  |        | *                | *       |        | *                            | *       |        |
| X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | 0,52         | 0,0329  |        | *                | *       |        | *                            | *       |        |
| X <sub>1</sub> X <sub>1</sub> | *            | *       |        | -                | -       |        | -                            | -       |        |
| X <sub>2</sub> X <sub>2</sub> | *            | *       |        | -                | -       |        | -                            | -       |        |

Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 8 no  $3^2$  para CTD.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 13, pode ser observado que os três fatores investigados afetaram significativamente na higroscopicidade do material seco, seja de forma isolada e/ou como interação entre as variáveis. A espessura teve

efeito significativo somente na forma de interação, mas ainda assim afetou a resposta. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressão obtido foi de 0,9906.

Como pode ser notado na Tabela 13, na análise individual dos planejamentos em três níveis para os dois distintos processos, apenas a variável temperatura foi significativa nos diferentes métodos de secagem, dessa forma não foi obtida as equações empíricas, por consequência também as superfícies respostas. Contudo, uma vez que o efeito principal da temperatura (único significativo nos dois métodos) da variável teve sinal positivo isso indica que uma elevação nesse fator produziu produtos secos mais higroscópicos. Das regressões múltiplas nos dados dos planejamentos a três níveis, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8401 e 0,9192, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e na secagem convectiva em estufa.

#### 4.2.2.2 Atividade de água

A atividade de água ( $a_w$ ) é um parâmetro determinante para considerar a estabilidade e segurança microbiológica de um produto desidratado. A deterioração da qualidade dos produtos inicia quando a atividade de água ( $a_w$ ) ultrapassa o valor de 0,3 o que se aplica à maioria das reações químicas e alimentos secos. Um acréscimo na atividade de água da ordem de 0,1 resulta em uma redução de duas a três vezes a vida útil dos produtos alimentícios. O crescimento das bactérias é impactado quando a atividade de água fica abaixo de 0,9, enquanto os bolores e leveduras têm seu crescimento afetado abaixo de 0,8. Para considerar um alimento seguro e estável, em geral, a atividade de água deve ter valores inferiores a 0,6 evitando o crescimento microbiano (LABUZA, 1980; ROOS 1993; RAHMAN, 2009; SZADZIŃSKA et al., 2016).

Na Tabela 14 são apresentados os valores da atividade de água para o resíduo de morango seco por *cast-tape drying* e por secagem convectiva com ar quente, obtidos em diferentes condições de processo de acordo com os experimentos do planejamento experimental.

Tabela 14-Atividade de água do resíduo de morango seco por cast-tape drying e por secagem convectiva.

| Temperatura da fonte de calor (°C) | Espessura (mm) | Atividade de água (-) |                    |
|------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------------|
|                                    |                | CTD                   | Secagem convectiva |
| 65                                 | 3              | 0,347±0,004           | 0,330±0,003        |
| 65                                 | 4              | 0,361±0,001           | 0,299±0,007        |
| 65                                 | 5              | 0,374±0,002           | 0,331±0,007        |
| 75                                 | 3              | 0,370±0,002           | 0,308±0,009        |
| 75                                 | 4              | 0,394±0,004           | 0,307±0,011        |
| 75                                 | 5              | 0,271±0,006           | 0,344±0,004        |
| 85                                 | 3              | 0,244±0,004           | 0,307±0,004        |
| 85                                 | 4              | 0,320±0,004           | 0,364±0,012        |
| 85                                 | 5              | 0,371±0,009           | 0,410±0,008        |
| 75                                 | 4              | 0,370±0,009           | 0,292±0,009        |
| 75                                 | 4              | 0,371±0,007           | 0,311±0,004        |

Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios ± desvio padrão das análises em triplicatas.

A atividade de água nos pós produzidos através da secagem por CTD (Tabela 14) variou entre 0,244 e 0,394. Os valores, em geral, foram menores do que aqueles encontrados por Cichella Frabetti et al. (2021) que realizaram a secagem de polpa de morango por CTD com espessura de 2mm a 98 °C e obtiveram resultados na faixa de 0,307 a 0,530.

Na secagem convectiva com ar aquecido os produtos secos obtidos apresentaram valores de atividade de água variando entre 0,292 e 0,410 que são menores aos encontrados por Shuen et al., (2021) que obtiveram um valor de 0,55 no material seco produzido em estufa convectiva a 45 °C na secagem da fruta kuini (*Mangifera odorata* Griff.). Os autores avaliaram diferentes métodos de secagem para obtenção de pó de kuini e pelo método de *freeze-drying* a -20 °C a atividade de água medida foi de 0,35. Szadzińska et al. (2016) avaliaram métodos convectivos de secagem e encontraram atividade de água de 0,414 para estufa convectiva a 52 °C e 0,271 para secagem por micro-ondas assistida por ultrassom.

Na Tabela 15 estão apresentados os valores dos efeitos significativos (p-valor < 0,10) obtidos para a atividade de água para os 3 planejamentos analisados (2<sup>3</sup>, 3<sup>2</sup> para CTD e 3<sup>2</sup> para secagem convectiva).

Tabela 15-Efeitos significativos da atividade de água sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Planejamento |
|--------------|
|--------------|

| Fonte de variação             | 2 <sup>3</sup> |         |                | 3 <sup>2</sup>   |         |                |                              |         |                |
|-------------------------------|----------------|---------|----------------|------------------|---------|----------------|------------------------------|---------|----------------|
|                               | Efeito         | p-valor | R <sup>2</sup> | Cast-tape drying |         |                | Secagem convectiva em estufa |         |                |
|                               |                |         |                | Efeito           | p-valor | R <sup>2</sup> | Efeito                       | p-valor | R <sup>2</sup> |
| Média                         | 0,339          | 0,0005  | 0,9999         | 0,384            | 0,0000  | 0,9395         | 0,305                        | 0,0000  | 0,9332         |
| X <sub>1</sub>                | -0,013         | 0,0255  |                | -0,049           | 0,0190  |                | 0,040                        | 0,0114  |                |
| X <sub>2</sub>                | 0,065          | 0,0049  |                | 0,069            | 0,0097  |                | 0,047                        | 0,0063  |                |
| X <sub>3</sub>                | 0,011          | 0,0303  |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | 0,051          | 0,0063  |                | 0,050            | 0,0337  |                | 0,051                        | 0,0100  |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | 0,041          | 0,0079  |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | -0,013         | 0,0255  |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>1</sub> | *              | *       |                | -0,102           | 0,0115  |                | 0,046                        | 0,0337  |                |
| X <sub>2</sub> X <sub>2</sub> | *              | *       |                | -                | -       |                | 0,035                        | 0,0781  |                |

Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 6 no 3<sup>2</sup> para CTD.

As equações empíricas obtidas para representar variação da atividade de água em função das variáveis independentes estudadas são apresentadas nas Equações 16 e 17, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por cast-tape e secagem convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 18.

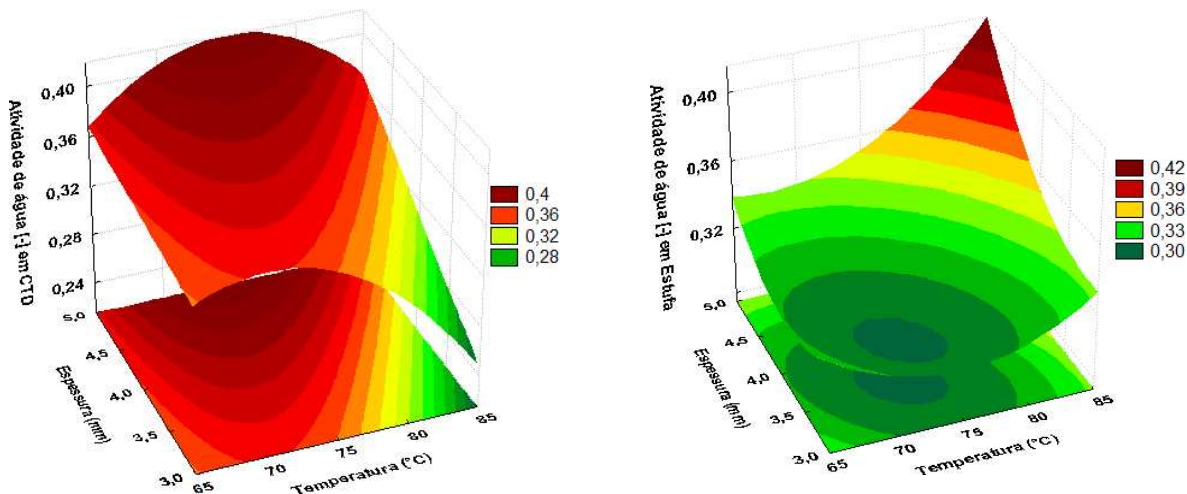
$$\hat{y}_2 = 0,384 - 0,025X_1 + 0,035X_2 - 0,051X_1X_1 + 0,025X_1X_2 \quad (16)$$

$$\hat{y}_2 = 0,305 + 0,020X_1 + 0,023X_2 + 0,026X_1X_1 + 0,023X_2X_2 + 0,018X_1X_2 \quad (17)$$

Figura 18- Superfícies respostas para a atividade de água em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente.

a)

b)



Fonte: Autoria própria (2023).

Diante dos resultados apresentados na Tabela 15, analisando os efeitos calculados a partir do planejamento  $2^3$ , verifica-se que os três fatores investigados apresentaram efeito significativo na atividade de água de forma isolada e por meio de interação. O fato de as interações apresentarem (em módulo) valores de efeito da mesma ordem de grandeza ou maiores que os efeitos principais, determina o sentido da influência dos fatores na atividade de água que não pode ser deduzida somente pelo sinal do efeito principal. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de regressão obtido foi de 0,9999.

Do mesmo modo, por meio dos planejamentos em três níveis para os dois distintos métodos de secagem, nota-se que temperatura e espessura influenciaram na atividade de água de forma isolada, e por meio de interação e termo quadrático, sendo que o efeito mais intenso de forma isolada na secagem convectiva e por CTD foi o efeito principal da variável espessura. Nesse sentido, os modelos empíricos e suas superfícies de resposta mostram que a atividade de água tendeu a diminuir associando menores espessuras e temperaturas mais elevadas. Para os planejamentos  $3^2$ , (para *cast-tape drying* e secagem convectiva) os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foram de 0,9395 e 0,9332, respectivamente.

#### 4.2.2.3 Cor

Na Tabela 16 estão apresentados os resultados da caracterização da cor do resíduo de morango seco por *cast-tape drying* e por secagem convectiva.

Tabela 16- Parâmetros de cor do resíduo de morango seco em CTD.

| Amostra/<br>Experimento | CTD        |            |            |            |            |            |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                         | L*         | a*         | b*         | $\Delta E$ | C*         | h°         |
| <i>In natura</i>        | 11,34±0,04 | 13,31±0,06 | 10,61±0,09 | -          | 17,45±0,24 | 38,58±0,39 |
| 65° C – 3 mm            | 12,95±0,07 | 11,22±0,10 | 11,09±0,04 | 2,68±0,10  | 15,78±0,06 | 44,68±0,31 |
| 65° C – 4 mm            | 14,03±0,08 | 11,12±0,08 | 11,33±0,06 | 3,66±0,08  | 15,80±0,05 | 45,86±0,31 |
| 65° C – 5 mm            | 12,08±0,11 | 9,76±0,07  | 9,93±0,07  | 3,64±0,08  | 13,94±0,05 | 45,31±0,38 |
| 75° C – 3 mm            | 14,04±0,01 | 10,92±0,08 | 11,09±0,07 | 3,64±0,06  | 15,56±0,05 | 45,46±0,35 |
| 75° C – 4 mm            | 14,06±0,06 | 11,29±0,12 | 11,43±0,11 | 3,49±0,13  | 16,06±0,06 | 45,35±0,56 |
| 75° C – 5 mm            | 13,36±0,04 | 10,73±0,06 | 11,04±0,08 | 3,31±0,07  | 15,39±0,04 | 45,81±0,33 |
| 85° C – 3 mm            | 13,24±0,03 | 10,25±0,11 | 10,81±0,07 | 3,61±0,11  | 14,89±0,05 | 46,54±0,47 |
| 85° C – 4 mm            | 13,20±0,03 | 10,34±0,07 | 10,97±0,08 | 3,53±0,07  | 15,08±0,06 | 46,71±0,30 |
| 85° C – 5 mm            | 12,75±0,03 | 10,23±0,09 | 10,94±0,08 | 3,35±0,09  | 15,01±0,06 | 43,21±0,38 |
| 75° C – 4 mm            | 14,09±0,02 | 11,35±0,04 | 11,41±0,09 | 3,47±0,13  | 16,09±0,09 | 45,15±0,16 |
| 75° C – 4 mm            | 14,06±0,02 | 11,30±0,04 | 11,27±0,09 | 3,45±0,13  | 15,96±0,09 | 44,92±0,16 |

Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios  $\pm$  desvio padrão das análises em triplicatas.

Em relação aos valores encontrados para a cor do resíduo seco em CTD, analisando o parâmetro de cor instrumental  $a^*$  (vermelho a verde), verifica-se que houve uma diminuição do valor durante a secagem, dessa forma a amostra ficou menos vermelha quando comparada ao resíduo *in natura*. Resultados semelhantes foram encontrados por Durigon et al. (2016) durante a secagem de suco de tomate utilizando *cast-tape drying*. Morangos processados podem sofrer alteração de coloração por inúmeros fatores que causam o escurecimento da amostra tendendo a cor marrom (ABONYI et al., 2002; CICHELLA FRABETTI et al., 2021a; TERIBIA et al., 2021). Também em relação à perda da cor vermelho, percebe-se que o ângulo de hue foi menor comparando os valores para o resíduo *in natura* e após a secagem, mostrando a degradação dessa cor.

O menor valor encontrado para o parâmetro de cor  $a^*$  (9,76) foi na condição 65°C a 5 mm o que pode ser explicado pelo maior tempo de exposição da amostra por combinação de menor temperatura e maior espessura, degradando a cor vermelho característica. O parâmetro de cor  $L^*$  é responsável por indicar se as amostras estão mais claras ou escuras e, os resultados obtidos mostraram que as amostras secas estavam mais claras que o resíduo *in natura*, porém para melhor avaliação os outros parâmetros devem ser analisados em paralelo (provavelmente a explicação se deve à redução da umidade).

Tabela 17- Parâmetros de cor do resíduo de morango seco em estufa convectiva.

| Amostra/<br>Experimento | Secagem convectiva em estufa |            |            |            |            |            |
|-------------------------|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                         | L*                           | a*         | b*         | $\Delta E$ | C*         | h°         |
| <i>In natura</i>        | 11,34±0,04                   | 13,31±0,06 | 10,61±0,09 | -          | 17,45±0,24 | 38,58±0,39 |

|              |            |            |            |           |            |            |
|--------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 65° C – 3 mm | 14,45±0,04 | 10,91±0,14 | 11,10±0,10 | 3,96±0,12 | 15,57±0,07 | 45,51±0,56 |
| 65° C – 4 mm | 14,95±0,16 | 11,00±0,10 | 11,15±0,06 | 4,32±0,12 | 15,66±0,08 | 45,37±0,31 |
| 65° C – 5 mm | 14,76±0,10 | 9,80±0,11  | 11,49±0,07 | 4,98±0,16 | 15,10±0,05 | 49,54±0,46 |
| 75° C – 3 mm | 12,78±0,02 | 10,41±0,05 | 11,46±0,08 | 3,34±0,04 | 15,48±0,08 | 47,73±0,16 |
| 75° C – 4 mm | 12,10±0,02 | 9,99±0,18  | 10,85±0,05 | 3,41±0,18 | 14,75±0,12 | 47,36±0,58 |
| 75° C – 5 mm | 13,24±0,03 | 10,51±0,06 | 11,34±0,02 | 3,47±0,04 | 15,46±0,03 | 47,18±0,18 |
| 85° C – 3 mm | 10,26±0,07 | 8,64±0,12  | 9,78±0,10  | 4,78±0,02 | 13,11±0,03 | 48,53±0,51 |
| 85° C – 4 mm | 11,76±0,12 | 9,46±0,16  | 10,84±0,19 | 3,97±0,08 | 14,39±0,07 | 48,88±0,88 |
| 85° C – 5 mm | 13,73±0,05 | 9,62±0,08  | 10,92±0,12 | 4,43±0,08 | 14,60±0,04 | 48,63±0,43 |
| 75° C – 4 mm | 12,09±0,01 | 10,20±0,19 | 10,82±0,06 | 3,49±0,18 | 14,87±0,12 | 46,69±0,58 |
| 75° C – 4 mm | 12,10±0,01 | 9,92±0,19  | 10,91±0,06 | 3,21±0,18 | 14,75±0,12 | 47,72±0,58 |

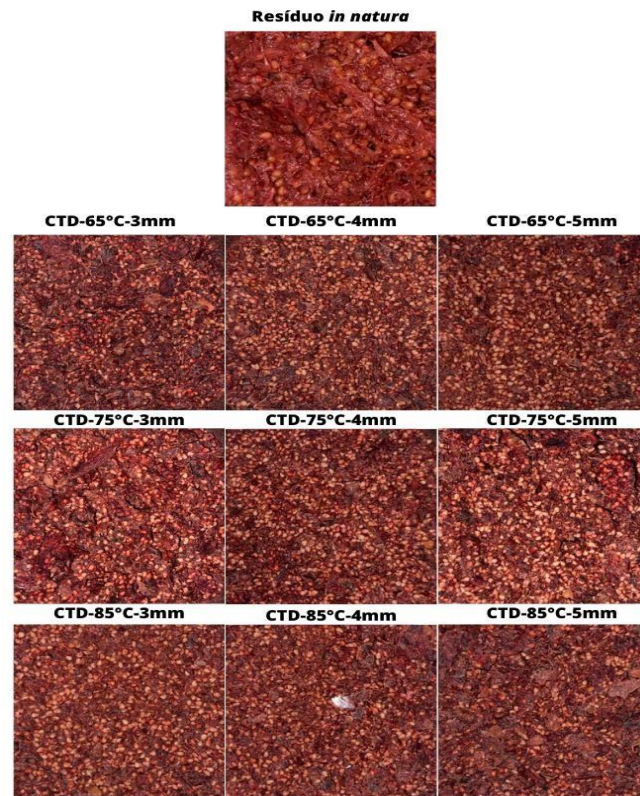
Fonte: Autoria própria (2023). Os valores são médios  $\pm$  desvio padrão das análises em triplicatas.

O parâmetro  $\Delta E$  apresenta a diferença total de cor entre o resíduo *in natura* e o resíduo seco. Diminuir a diferença global de cor ( $\Delta E$ ) é importante visando manter a cor natural em produtos secos (Prathapan et al. 2009) e uma clara diferença de percepção na cor pode ser notada no caso em que o valor  $\Delta E$  está acima de 3,5 (Mokrzycki; Tatol 2011), o que de acordo com as Tabelas 16 e 17, foi alcançado em diferentes condições de temperatura e espessura para os dois métodos de secagem. Porém, em geral, esse parâmetro tendeu a ser mais favorável nos ensaios de *cast-tape drying*. O maior valor desse parâmetro ( $\Delta E = 4,98$ ) foi encontrado na estufa convectiva resultados, o que pode ser explicado pelo fato de que nos métodos convectivos tem-se o efeito de aquecimento promovido pelo ar quente, que degrada a coloração (HERNÁNDEZ-SANTOS et al., 2016; SZADZIŃSKA et al., 2016). Já o menor valor ( $\Delta E = 2,68$ ) foi determinado para *cast-tape drying*, processo reportado na literatura com adequado para preservação de características nutricionais e sensoriais.

Na Tabela 17 verifica-se que o valor do parâmetro de cor  $a^*$  para a estufa convectiva teve decréscimo no valor quando comparado ao resíduo *in natura* ( $13,31 \pm 0,066$ ). O menor valor 8,64 foi encontrado para a condição 85°C a 3 mm que pode ser explicado por uma exposição da amostra em sua menor espessura de espalhamento e maior temperatura de secagem.

A Figura 19 mostra as fotografias do resíduo *in natura* e dos resíduos secos pelo método CTD nas temperaturas e espessuras definidas no planejamento experimental e a Figura 20 mostra as fotografias do resíduo *in natura* e dos resíduos secos por estufa convectiva.

Figura 19- Fotografias dos pós do resíduo *in natura* e dos resíduos produzidos segundo o planejamento experimental em secagem por CTD.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 20- Fotografias dos pós do resíduo *in natura* e dos resíduos produzidos segundo o planejamento experimental em secagem estufa convectiva.



Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.2.2.3.1 Parâmetro de cor $L^*$

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de luminosidade ( $L^*$ ) são mostrados na Tabela 18.

Tabela 18- Efeitos significativos para o parâmetro  $L^*$  sendo  $X_1$  a temperatura da fonte de calor,  $X_2$  a espessura da camada de resíduo de morango e  $X_3$  o método de secagem.

| Fonte de variação | Planejamento |         |        |                         |         |        |                              |         |        |
|-------------------|--------------|---------|--------|-------------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
|                   | $2^3$        |         |        | $3^2$                   |         |        |                              |         |        |
|                   | Efeito       | p-valor | $R^2$  | <i>Cast-tape drying</i> |         |        | Secagem convectiva em estufa |         |        |
|                   |              |         |        | Efeito                  | p-valor | $R^2$  | Efeito                       | p-valor | $R^2$  |
| Média             | 13,028       | 0,0000  | 0,8384 | 14,17                   | 0,0000  | 0,8416 | 12,30                        | 0,0000  | 0,9342 |
| $X_1$             | -            | -       |        | -                       | -       |        | -2,80                        | 0,0013  |        |
| $X_2$             | -            | -       |        | -0,68                   | 0,0799  |        | 1,41                         | 0,0218  |        |
| $X_3$             | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| $X_1X_2$          | -1,545       | 0,0877  |        | -                       | -       |        | 1,58                         | 0,0301  |        |
| $X_1X_3$          | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| $X_2X_3$          | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| $X_1X_1$          | *            | *       |        | -1,43                   | 0,0308  |        | 1,50                         | 0,0731  |        |
| $X_2X_2$          | *            | *       |        | -1,26                   | 0,0467  |        | -                            | -       |        |

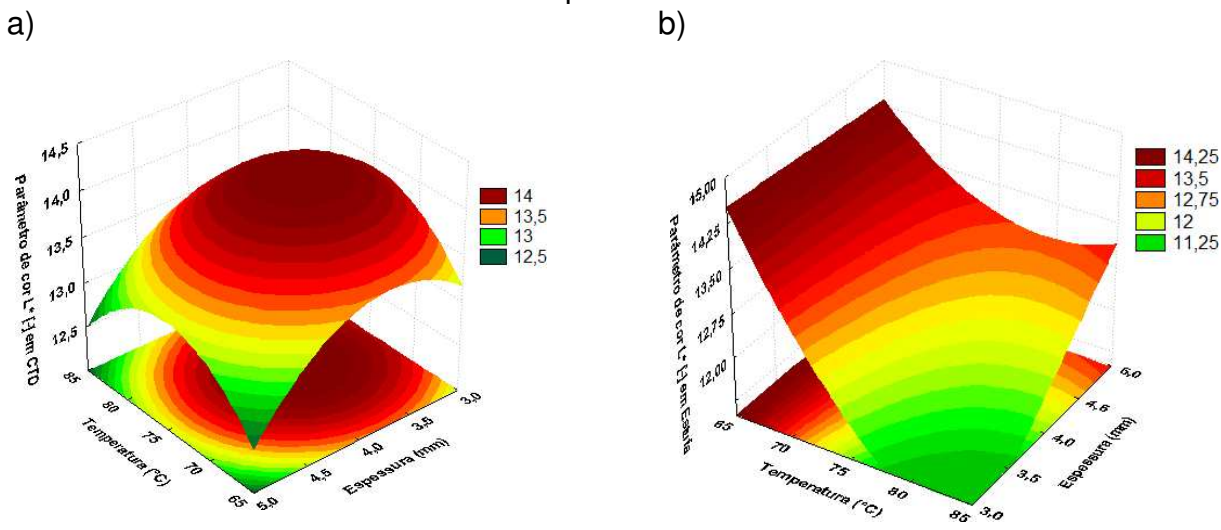
Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1.

As equações empíricas obtidas para representar a variação da luminosidade no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 18 e 19, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 21.

$$\hat{y}_6 = 14,17 - 0,34X_2 - 0,71X_1X_1 - 0,63X_2X_2 \quad (18)$$

$$\hat{y}_6 = 12,30 - 1,40X_1 + 0,71X_2 + 0,74X_1X_1 + 0,79X_1X_2 \quad (19)$$

Figura 21- Superfícies respostas para a Luminosidade ( $L^*$ ) em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente.



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 18 (análise dos efeitos quantificados) é observado para o parâmetro  $L^*$ , em geral, que a temperatura do meio secante e a espessura apresentaram efeitos significativos nos processos de secagem, mas apenas por meio de interação entre esses fatores. Para a regressão múltipla nos dados do planejamento  $2^3$  o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8384.

Conforme mostrado na Figura 21 nas superfícies de respostas construídas a partir dos resultados dos planejamentos  $3^2$ , nota-se que no método de *cast-tape drying* percebe-se que, em geral, os resíduos secos foram mais claros (maior  $L^*$ ) combinando níveis intermediários de temperatura e espessura. Por outro lado, o resíduo seco foi mais escuro nas condições extremas, isto é, níveis inferiores e superiores para os dois fatores. Provavelmente, uma temperatura mais elevada do meio secante levou a uma representou uma maior taxa de calor transmitido e uma menor temperatura um maior tempo de exposição ao calor, sendo que ambas as condições degradaram a luminosidade. De forma análoga, uma camada mais espessa da pasta úmida espalhada conduziu a uma secagem mais longa (maior tempo de exposição ao calor) e uma camada mais fina pode ter significado uma menor proteção de camadas internas aos efeitos do calor, condições que também devem ter levado aos resíduos mais escuros. No que diz respeito à luminosidade dos resíduos secos, visualiza-se que esse material foi mais claro para menores temperaturas, independentemente da espessura. Devido ao efeito de interação essa variável afetou o parâmetro  $L^*$  somente

para menores níveis de temperatura, com o escurecimento do produto seco com a diminuição da espessura. A elevação da temperatura, em geral, resultou em resíduo seco mais escuro, exceto para temperaturas mais baixas região na qual a luminosidade pouco variou com a temperatura. O produto seco foi mais escuro com a associação de maior temperatura e menor espessura. Das regressões múltiplas nos dados dos planejamentos a três níveis, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8416 e 0,9342, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e na secagem convectiva em estufa.

#### 4.2.2.3.2 Parâmetro $a^*$

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais para o parâmetro  $a^*$  são mostrados na Tabela 19.

Tabela 19- Efeitos significativos para o parâmetro  $a^*$  sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Fonte de variação             | Planejamento |         |        |                         |         |        |                              |         |        |
|-------------------------------|--------------|---------|--------|-------------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
|                               | $2^3$        |         |        | $3^2$                   |         |        |                              |         |        |
|                               | Efeito       | p-valor | $R^2$  | <i>Cast-tape drying</i> |         |        | Secagem convectiva em estufa |         |        |
|                               |              |         |        | Efeito                  | p-valor | $R^2$  | Efeito                       | p-valor | $R^2$  |
| Média                         | 10,05        | 0,0000  | 0,8656 | 11,29                   | 0,0000  | 0,9314 | 10,21                        | 0,0000  | 0,8662 |
| X <sub>1</sub>                | -            | -       |        | -0,43                   | 0,0498  |        | -1,33                        | 0,0009  |        |
| X <sub>2</sub>                | -            | -       |        | -0,56                   | 0,0202  |        | -                            | -       |        |
| X <sub>3</sub>                | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | 0,88         | 0,0690  |        | 0,72                    | 0,0165  |        | 1,05                         | 0,0097  |        |
| X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X <sub>1</sub> X <sub>1</sub> | *            | *       |        | -1,04                   | 0,0097  |        | -                            | -       |        |
| X <sub>2</sub> X <sub>2</sub> | *            | *       |        | -0,85                   | 0,0210  |        | -                            | -       |        |

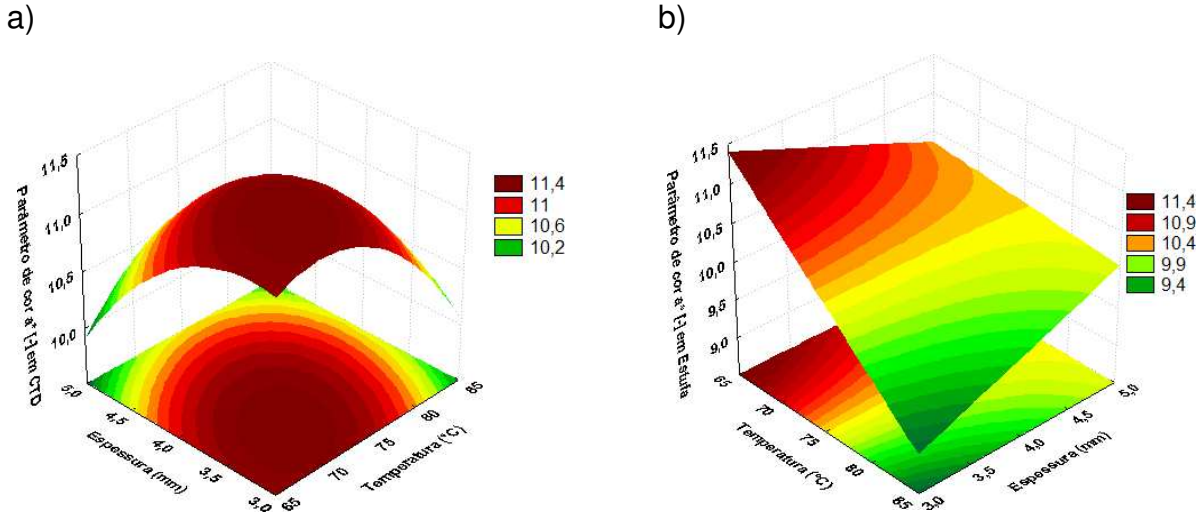
Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do parâmetro  $a^*$  no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 20 e 21, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 22.

$$\hat{y}_7 = 11,28 - 0,21X_1 - 0,28X_2 - 0,52X_1X_1 - 0,42X_2X_2 + 0,36X_1X_2 \quad (20)$$

$$\hat{y}_7 = 10,21 - 0,67X_1 + 0,52X_1X_2 \quad (21)$$

Figura 22- Superfícies respostas para  $a^*$  em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente.



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 19, verifica-se que para o parâmetro  $a^*$ , em geral, no planejamento  $2^3$ , a temperatura e a espessura apresentaram efeitos significativos nos processos de secagem, porém por meio de interação. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi de 0,8656 para a regressão nos dados do planejamento  $2^3$ .

Analisando a Figura 22, observa-se que para os resíduos de morango secos pelos dois métodos que houve maior preservação da cor vermelho pela combinação de maiores temperaturas da fonte de calor e menores espessuras da camada de resíduo espalhada. A cor vermelha foi menos conservada para altas temperaturas nos dois processos e para a maior espessura no CTD e menor espessura na estufa convectiva. O  $R^2$  foi de 0,9314 e 0,8662, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa.

#### 4.2.2.3.3 Parâmetro $b^*$

Os resultados da análise estatística (estimativa dos efeitos), aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de  $b^*$  (Tabelas 16 e 17) são mostrados na Tabela 20.

Tabela 20- Efeitos significativos para o parâmetro  $b^*$  sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Fonte de variação | Planejamento |         |        |                         |         |        |                              |         |        |
|-------------------|--------------|---------|--------|-------------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
|                   | $2^3$        |         |        | $3^2$                   |         |        |                              |         |        |
|                   | Efeito       | p-valor | $R^2$  | <i>Cast-tape drying</i> |         |        | Secagem convectiva em estufa |         |        |
|                   |              |         |        | Efeito                  | p-valor | $R^2$  | Efeito                       | p-valor | $R^2$  |
| Média             | 10,76        | 0,0000  | 0,9590 | 11,40                   | 0,0000  | 0,8268 | 10,88                        | 0,0000  | 0,9034 |
| X1                | -            | -       |        | -                       | -       |        | -0,73                        | 0,0022  |        |
| X2                | -            | -       |        | -0,36                   | 0,0955  |        | 0,80                         | 0,0024  |        |
| X3                | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X1X2              | 0,51         | 0,0294  |        | 0,65                    | 0,0277  |        | 0,38                         | 0,0762  |        |
| X1X3              | -0,65        | 0,0151  |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X2X3              | -            | -       |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X1X1              | *            | *       |        | -0,60                   | 0,0764  |        | -                            | -       |        |
| X2X2              | *            | *       |        | -0,77                   | 0,0336  |        | -                            | -       |        |

Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do parâmetro  $b^*$  no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 22 e 23, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva.

$$\hat{y}_8 = 11,40 - 0,18X_2 - 0,30X_1X_1 - 0,39X_2X_2 + 0,32X_1X_2 \quad (22)$$

$$\hat{y}_8 = 10,88 - 0,66X_1 + 0,40X_2 + 0,19X_1X_2 \quad (23)$$

A partir dos resultados apresentados na Tabela 20, observa-se que para o parâmetro  $b^*$ , em geral, nas condições investigadas, a temperatura de processo, espessura e o método de secagem mostraram efeito significativo na resposta, mas somente na forma de interação. Nos planejamentos  $3^2$  a espessura foi significativa pelo efeito principal para ambos os métodos. Já a temperatura não foi significativa de forma isolada no CTD. Ainda assim, afetou o parâmetro  $b^*$  por meio da interação e pelo termo quadrático. Na secagem em estufa, o efeito das variáveis nas respostas foi somente linear, pois os termos quadráticos não foram significativos. Para a regressão múltipla nos dados do planejamento  $2^3$  o  $R^2$  foi de 0,9590 para os planejamentos  $3^2$  foi de 0,8268 e 0,9034, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva.

#### 4.2.2.3.4 Diferencial total de cor

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais para a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21- Efeitos significativos para a diferença total de cor ( $\Delta E$ ) sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Fonte de variação             | Planejamento   |         |                |                  |         |                |                              |         |                |
|-------------------------------|----------------|---------|----------------|------------------|---------|----------------|------------------------------|---------|----------------|
|                               | 2 <sup>3</sup> |         |                | 3 <sup>2</sup>   |         |                |                              |         |                |
|                               | Efeito         | p-valor | R <sup>2</sup> | Cast-tape drying |         |                | Secagem convectiva em estufa |         |                |
|                               |                |         |                | Efeito           | p-valor | R <sup>2</sup> | Efeito                       | p-valor | R <sup>2</sup> |
| Média                         | 3,93           | 0,0000  | 0,9993         | 3,49             | 0,0000  | 0,9859         | 3,29                         | 0,0000  | 0,9433         |
| X <sub>1</sub>                | 0,23           | 0,0141  |                | 0,29             | 0,0136  |                | -                            | -       |                |
| X <sub>2</sub>                | 0,34           | 0,0064  |                | 0,38             | 0,0065  |                | -                            | -       |                |
| X <sub>3</sub>                | 1,22           | 0,0005  |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | -0,65          | 0,0018  |                | -0,61            | 0,0018  |                | -0,69                        | 0,0212  |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | -0,09          | 0,0829  |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | -              | -       |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>1</sub> | *              | *       |                | 0,54             | 0,0132  |                | 1,93                         | 0,0007  |                |
| X <sub>2</sub> X <sub>2</sub> | *              | *       |                | -0,84            | 0,0037  |                | -                            | -       |                |

Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado os experimentos 4 e 8 no 3<sup>2</sup> para CTD.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do diferencial total de cor no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 24 e 25, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 23.

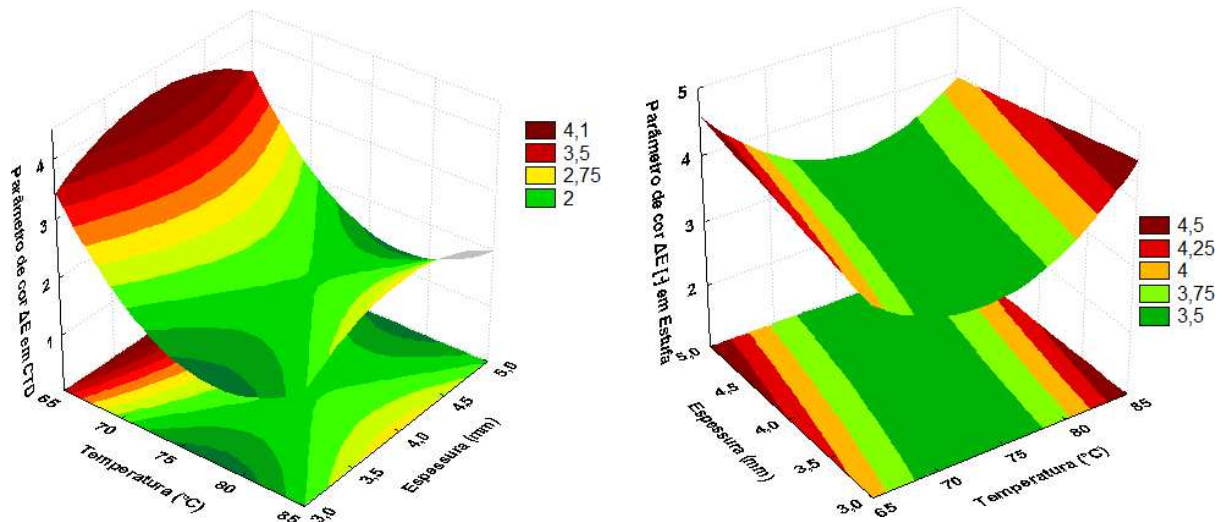
$$\hat{y}_9 = 3,49 + 0,14X_1 + 0,19X_2 - 0,30X_1X_1 + 0,27X_2X_2 - 0,42X_1X_2 \quad (24)$$

$$\hat{y}_9 = 3,29 + 0,96X_1X_1 - 0,34X_1X_2 \quad (25)$$

Figura 23- Superfícies respostas para  $\Delta E$  em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD e (b) secagem convectiva com ar quente.

a)

b)



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 27, considerando o planejamento fatorial  $2^3$  analisado, verifica-se que os três fatores afetaram de forma isolada significativamente e por meio de interação na diferença total de cor. Vale destacar o efeito principal positivo da variável método de secagem e relativamente maior que o efeito significativo de sua interação com a temperatura, o que indica que a mudança do menor nível (*cast-tape drying*) para o maior nível (secagem convectiva) levou a um aumento no valor de  $\Delta E$ , mostrando que o CTD tendeu a preservar melhor a cor do resíduo seco de morango, quando comparado à secagem em estufa com ar aquecido, o que está de acordo com a literatura que atribuiu ao CTD a obtenção de um produto seco com maior preservação de características, inclusive sensoriais, em relação à secagem com ar quente. O coeficiente de determinação foi de 0,9993 para a regressão dos dados do planejamento fatorial a dois níveis e para os planejamentos fatoriais a três níveis igual a 0,9859 e 0,9433, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa.

No planejamento  $3^2$  na secagem por CTD nota-se que a variação global de cor foi menor, permitido uma maior preservação da cor, associando uma temperatura intermediária com espessuras em níveis extremos (maior e menores valores). Ainda nesse processo a variação de cor global foi mais degradada em temperaturas mais baixas combinadas com camadas de espessuras intermediárias. Da mesma forma, na secagem convectiva, a variação no valor  $\Delta E$  foi menor quando empregadas temperaturas intermediárias

#### 4.2.2.3.5 Cromaticidade (C\*)

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais para o parâmetro de croma (C\*) são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22- Efeitos significativos para a cromaticidade (C\*) sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Fonte de variação             | Planejamento   |         |                |                  |         |                |                              |         |                |
|-------------------------------|----------------|---------|----------------|------------------|---------|----------------|------------------------------|---------|----------------|
|                               | 2 <sup>3</sup> |         |                | 3 <sup>2</sup>   |         |                |                              |         |                |
|                               | Efeito         | p-valor | R <sup>2</sup> | Cast-tape drying |         |                | Secagem convectiva em estufa |         |                |
|                               |                |         |                | Efeito           | p-valor | R <sup>2</sup> | Efeito                       | p-valor | R <sup>2</sup> |
| Média                         | 14,75          | 0,0000  | 0,8118         | 16,03            | 0,0000  | 0,9078         | 14,88                        | 0,0000  | 0,9311         |
| X <sub>1</sub>                | -              | -       |                | -                | -       |                | -1,41                        | 0,0012  |                |
| X <sub>2</sub>                | -              | -       |                | -0,32            | 0,0392  |                | 0,71                         | 0,0300  |                |
| X <sub>3</sub>                | -              | -       |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | 0,98           | 0,0958  |                | 0,98             | 0,0169  |                | 0,98                         | 0,0131  |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | -              | -       |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | -              | -       |                | *                | *       |                | *                            | *       |                |
| X <sub>1</sub> X <sub>1</sub> | *              | *       |                | -1,17            | 0,0207  |                | -                            | -       |                |
| X <sub>2</sub> X <sub>2</sub> | *              | *       |                | -1,10            | 0,0259  |                | -                            | -       |                |

Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 4 no 3<sup>2</sup> para CTD.

As equações empíricas obtidas para representar a variação da cromaticidade no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 26 e 27, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 24.

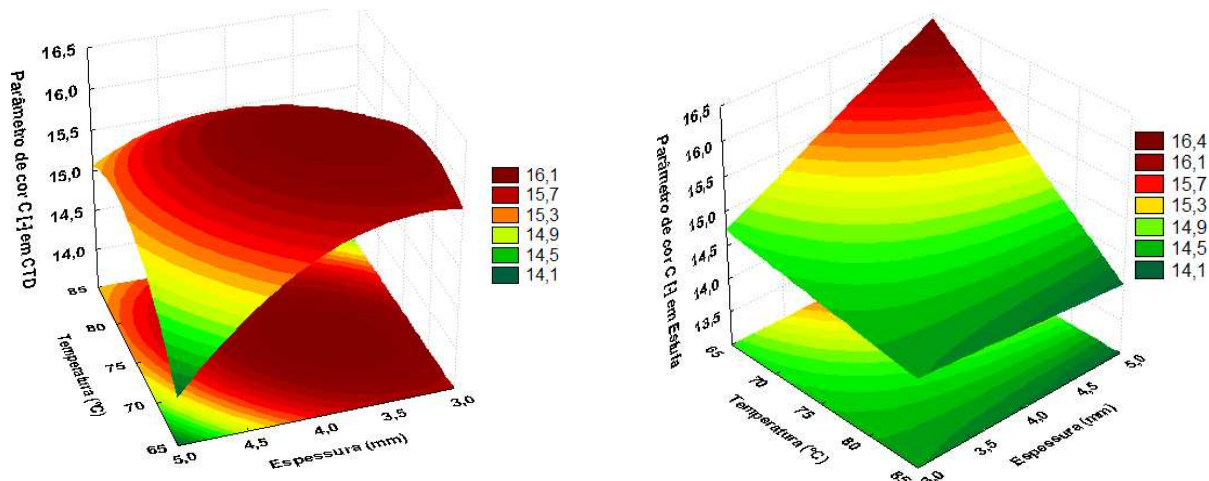
$$\hat{y}_{10} = 16,03 - 0,32X_2 - 0,58X_1X_1 - 0,55X_2X_2 + 0,49X_1X_2 \quad (26)$$

$$\hat{y}_{10} = 14,88 - 0,70X_1 + 0,36X_2 - 0,49X_1X_2 \quad (27)$$

Figura 24- Superfícies de resposta para C\* em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.

a)

b)



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 22, considerando o planejamento fatorial  $2^3$  analisado verifica-se que apenas a interação da temperatura com espessura teve efeito forma significativa na cromaticidade. O coeficiente de determinação foi de 0,8118 para a regressão dos dados do planejamento fatorial a dois níveis e para os planejamentos fatoriais a três níveis igual a 0,9078 e 0,9311, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa. No planejamento  $3^2$  por meio das superfícies de resposta observa-se que, na secagem por CTD, a saturação da cor foi mais intensa na combinação de menores espessuras com menores temperaturas. Já na secagem convectiva em estufa, a cromaticidade foi maior também em temperaturas mais baixas, porém associadas a maiores espessuras. Para temperaturas elevadas, independentemente da espessura, o parâmetro  $C^*$  foi sempre mais baixo, apresentando pequena variação e, de forma similar, para a camada mais fina de pasta de resíduo, independentemente da temperatura, a cromaticidade também foi sempre mais baixa, mostrando pequena variação.

#### 4.2.2.3.6 Ângulo de Tonalidade ou ângulo de hue ( $h^\circ$ )

Os resultados da análise estatística, aplicada aos dados experimentais para o ângulo de hue são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23- Efeitos significativos para o ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) sendo X1 a temperatura da fonte de calor, X2 a espessura da camada de resíduo de morango e X3 o método de secagem.

| Fonte de variação | Planejamento |         |        |                         |         |        |                              |         |        |
|-------------------|--------------|---------|--------|-------------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
|                   | $2^3$        |         |        | $3^2$                   |         |        |                              |         |        |
|                   | Efeito       | p-valor | $R^2$  | <i>Cast-tape drying</i> |         |        | Secagem convectiva em estufa |         |        |
|                   |              |         |        | Efeito                  | p-valor | $R^2$  | Efeito                       | p-valor | $R^2$  |
| Media             | 46,49        | 0,0000  | 0,9999 | 45,28                   | 0,0000  | 0,8984 | 47,19                        | 0,0000  | 0,9566 |
| X1                | 0,47         | 0,0102  |        | -                       | -       |        | 1,16                         | 0,0849  |        |
| X2                | 0,36         | 0,0134  |        | -1,56                   | 0,0112  |        | 2,17                         | 0,0178  |        |
| X3                | 3,12         | 0,0015  |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X1X2              | -1,97        | 0,0024  |        | -1,98                   | 0,0054  |        | -1,97                        | 0,0260  |        |
| X1X3              | 0,59         | 0,0081  |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X2X3              | 1,71         | 0,0028  |        | *                       | *       |        | *                            | *       |        |
| X1X1              | *            | *       |        | 1,58                    | 0,0510  |        | -2,05                        | 0,0917  |        |
| X2X2              | *            | *       |        | -2,06                   | 0,0189  |        | 3,68                         | 0,0219  |        |

Fonte: Autoria própria (2023). (\*) não se aplica ao planejamento ou análise aqui realizada; (-) efeito com p-valor maior que 0,1. OBS.: para essa resposta foi realizado um *outlier* a partir da análise residual, sendo desconsiderado o experimento 6 no  $3^2$  para CTD e os experimentos 6 e 8 para Estufa.

As equações empíricas obtidas para representar a variação do ângulo de tonalidade no produto seco nas diferentes condições investigadas são apresentadas nas Equações 28 e 29, respectivamente, para os resultados dos planejamentos fatoriais a três níveis para as secagens por *cast-tape* e em estufa convectiva. As superfícies de resposta representadas por estas equações de regressão são mostradas na Figura 25.

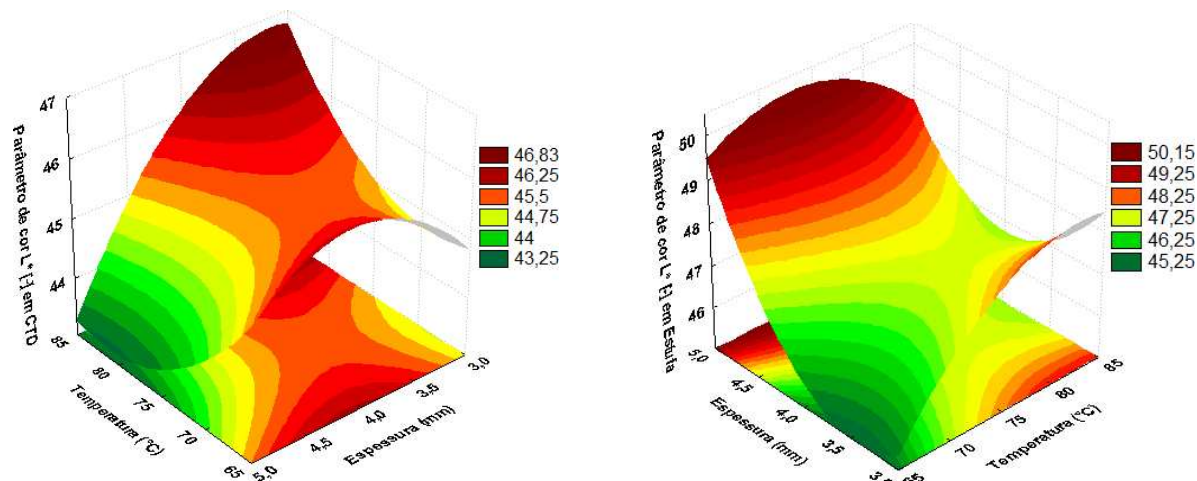
$$\hat{y}_{11} = 45,28 - 0,78X_2 + 0,79X_1X_1 - 1,03X_2X_2 - 0,99X_1X_2 \quad (28)$$

$$\hat{j}_{11} = 47,19 + 0,58X_1 + 1,09X_2 - 1,03X_1X_1 + 1,84X_2X_2 - 0,98X_1X_2 \quad (29)$$

Figura 25- Superfícies de resposta para  $h^\circ$  em função da temperatura de secagem e espessura: (a) CTD; e, (b) secagem convectiva em estufa.

a)

b)



Fonte: Autoria própria (2023).

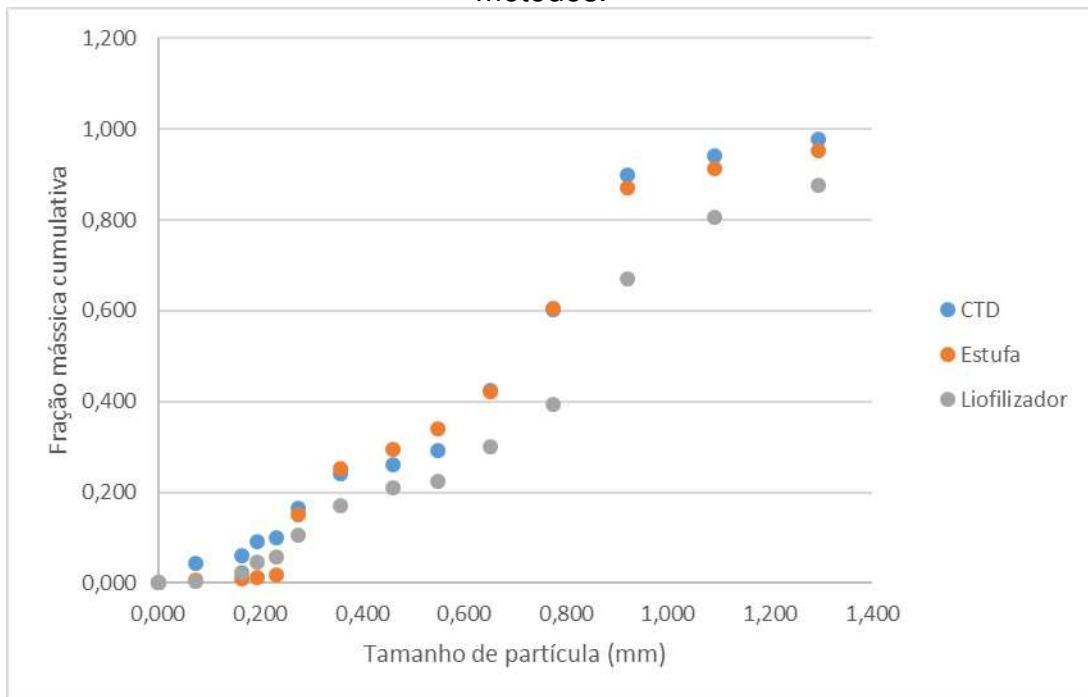
A partir dos resultados apresentados na Tabela 29, considerando o planejamento fatorial  $2^3$  analisado, verifica-se que para o parâmetro  $h^o$ , em geral, a temperatura de operação da fonte de calor, a espessura da camada de resíduo submetida ao processo e o método de secagem apresentaram efeitos significativos na secagem, sendo que o efeito principal do fator método de secagem foi aquele efeito mais intenso e com sinal positivo. Isso indica que a alteração do processo de *cast-tape drying* para a secagem convectiva conduziu a um aumento no valor do  $h^o$ , mostrando que o CTD tendeu a preservar melhor a cor vermelho característica do resíduo de morango seco (o valor do resíduo in natura foi igual 38,64 e quanto mais próximo de 0°, mais vermelho), quando comparado à secagem convectiva, o que está de acordo com a literatura que atribuiu ao CTD a obtenção de um produto seco com maior preservação de características em relação à secagem com ar quente. O coeficiente de determinação foi de 0,9999 para a regressão dos dados do planejamento fatorial a dois níveis e para os planejamentos fatoriais a três níveis igual a 0,8984 e 0,9566, respectivamente, para secagem por *cast-tape* e secagem convectiva em estufa. Por meio da superfície de resposta para o método de CTD visualiza-se que os menores valores de ângulo de tonalidade foram alcançados pela combinação de temperaturas mais altas com menores espessuras, provavelmente devido ao fato de a secagem ser mais curta nessa condição. Por outro lado, na secagem convectiva, o produto seco tendeu a ser mais vermelho associando, também menores espessuras, mas com temperaturas mais baixas, ao contrário do observado na secagem por *cast-tape*, o que revela uma constatação, verificada em outros resultados do estudo, isto é, que nem sempre as melhores condições de processo

para a secagem por *cast-tape* são as mesmas mais favoráveis para a secagem convectiva.

#### 4.2.2.4 Distribuição do tamanho médio de partícula

Na Figura 26 está representada a distribuição granulométrica entre a fração mássica cumulativa e o tamanho de partícula do resíduo de morango seco. Os materiais obtidos foram coletados após os processos de secagem como secagem convectiva, liofilização e *cast-tape drying* e em seguida, submetidos a um processo de maceração usando almofariz e pistilo para separar e obter o tamanho médio das partículas. Neste sentido, essa caracterização teve por objetivo conhecer o tamanho de partícula do material particulado obtido, não sendo relacionado as variáveis de secagem.

Figura 26- Distribuição granulométrica entre a fração mássica cumulativa e o tamanho de partícula (mm) da amostra de resíduo de morango por diferentes métodos.



Fonte: Autoria própria (2023).

A análise granulométrica revelou que, após a secagem utilizando o método CTD, 74% da amostra ficou retida em peneiras com diâmetro variando de 0,500 a

1,410 mm, com um diâmetro médio de Sauter de 0,467 mm. Sob condições semelhantes, o resíduo seco em estufa reteve 74% das amostras nessa faixa de diâmetro, com um diâmetro médio de Sauter de 0,465 mm. No entanto, ao utilizar o liofilizador, a porcentagem retida aumentou para cerca de 79%, com um diâmetro de Sauter de 0,502 mm. A diferença na massa retida durante o processo de liofilização está associada às características estruturais do resíduo após a secagem. Observou-se que o resíduo, ao passar pelo processo de liofilização, apresentou uma estrutura menos quebradiça e mais aglomerada. Como resultado, as partículas aglomeradas tiveram uma tendência maior de serem retidas em peneiras com diâmetros maiores.

A maior parte das partículas das amostras analisadas nos diferentes métodos ficaram retidas na faixa de 0,707 e 0,841 mm. Esse resultado pode ser explicado pela constituição do resíduo que possui grande quantidade de aquênios, comumente chamados de sementes do morango, observado na Figura 27. As sementes de morango podem ser utilizadas de forma isolada como aditivos para produção de iogurtes funcionais ricos nutricionalmente e em substituição as sementes de chia comumente utilizadas com essa finalidade (KOWALESKI et al., 2020).

Figura 27- Resíduo de morango seco com presença de grande quantidade de sementes.



Fonte: Autoria própria (2022).

## CONCLUSÃO

As Agroindústrias de processamento de frutas geram resíduos com grande potencial de aproveitamento por suas características nutricionais. Porém esses resíduos possuem elevada umidade, o que favorece sua deterioração, dessa forma devem ser submetidos a métodos de conservação para seu melhor aproveitamento de seu potencial.

A secagem do resíduo de morango por diferentes métodos como *cast-tape drying* (CTD), *freeze-drying* (FD) e secagem convectiva por ar quente e a comparação de resultados possibilita a padronização das operações e condições de secagem e definição do método com maior preservação das propriedades físico-químicas e aproveitamento eficaz para aplicação industrial. Baseado nos resultados obtidos as conclusões que podem ser consideradas no presente trabalho são:

- O resíduo de morango *in natura* possui composição centesimal e mineral com grande potencial para o aproveitamento no desenvolvimento de produtos para a alimentação humana.
- A cor do resíduo de morango é alterada de acordo com o processo de secagem, sendo que para o pó liofilizado o valor do parâmetro de cor  $a^*$  foi de 13,26, sendo que se verificou que o resíduo mesmo após a secagem tendeu a manter o valor próximo ao *in natura*, conservando, assim, a cor vermelho característica da amostra. Entretanto, para os pós secos por CTD e, principalmente, para a secagem convectiva, houve uma diminuição do valor durante a secagem, dessa forma a amostra ficou menos vermelha quando comparada ao resíduo *in natura*.
- A análise granulométrica demonstrou que, após a secagem pelo método CTD, 74% da amostra ficou retida em peneiras com diâmetro entre 0,500 e 1,410 mm, apresentando um diâmetro médio de Sauter de 0,467 mm. Da mesma forma, o resíduo seco em Estufa reteve 74% das amostras nessa faixa de diâmetro, com um diâmetro médio de Sauter de 0,465 mm. Entretanto, ao empregar o liofilizador, a porcentagem retida aumentou para aproximadamente 79%, com um diâmetro de Sauter de 0,502 mm.

## REFERÊNCIAS

- ABUD, A. K. De S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.12, p. 257–265, 2010. <http://dx.doi.org/10.4260/bjft2009800900020>
- ABONYI, B. I. et al. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. **Journal of Food Science**, v. 67, p.1051–1056, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09452.x>
- AMAYA-CRUZ, D.M.et al. Juice by-products as a source of dietary fibre and antioxidants and their effect on hepatic steatosis. **Journal Of Functional Foods**, v. 17, p. 93–102. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.051>
- ANDRADE, M.A. et al. Pomegranate and grape by-products and their active compounds: Are they a valuable source for food applications?. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 86, p. 68–84, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.010>
- ANDRADE, R.M.S. de et al. Potential prebiotic effect of fruit and vegetable byproducts flour using in vitro gastrointestinal digestion. **Food Research International.**, v.137, p.109354, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109354>
- ANGEL, R. M. C. et al. Spray-drying of passion fruit juice using lactose maltodextrina blend as the support material. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba-PR, v. 52, n. 4, p. 1011-1018, 2009. <https://doi.org/10.1590/S151689132009000400026>
- ANTUNES, L. E. C.; CARVALHO, G. L.; SANTOS, A. M. dos. A cultura do Morango. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, p.1-58, 2011.
- ANTUNES, L. et al. **Morangueiro**. Embrapa, Brasília. Anual., 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179724/1/Luis-Eduardo-MORANGUEIRO-miolo.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.1-590.
- ANTUNES, L.E.C.A., BONOW, S. **Morango**: produção aumenta ano a ano. 2021.
- 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.17, Virginia, 2012.
- ARBALLO, J.R. et al. Modeling of Microwave Drying of Fruits. **Dry. Technol.** v. 28, p.1178–1184, 2010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/07373937.2010.493253>
- ARIZA, M.T. et al. Strawberry achenes are an important source of bioactive compounds for human health. **Int. J. Mol. Sci.**, v.17, p. 1–14, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijms17071103>
- AYALA-ZAVALA, J.F. et al. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International.**, v. 44, n.7, p.1866–1874, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>

BABU, A.K. et al. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 90, p. 536–556, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002>

BATISTA, K. S. et al. Acerola fruit by-product alleviates lipid, glucose, and inflammatory changes in the enterohepatic axis of rats fed a high-fat diet. **Food Chemistry**, Elsevier BV., v. 403, p. 134322, 2023. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134322>

BEUCHAT, L. R. et al. Low-water activity foods: Increased concern as vehicles of foodborne pathogens. **Journal of Food Protection**, v. 76, n. 1, p. 150–172, jan. 2013. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-211>

BHAT, R. STAMMINGER R.. Preserving strawberry quality by employing novel food preservation and processing techniques - recent updates and future scope - an overview. **Journal of Food Process Engineering**, v.38 (6), p. 536-554, 2015. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12184>

BRASIL. Instrução Normativa nº 37, de 01 de outubro de 2018. Estabelecer, na forma dos Anexos desta Instrução Normativa, os parâmetros analíticos de suco e de polpa de frutas e a listagem das frutas e demais quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade. 194. ed. Brasília: Diário Oficial da União, Seção 1, p.23, 2018.

BRASIL. Instrução Normativa nº 49, de 26 de setembro de 2018. Complementação dos Padrões de Identidade e Qualidade de Suco e Polpa de Fruta, na forma desta Instrução Normativa. 187. ed. Brasília, 27 set. 2018. Seção 1, p. 4, 2018.

BRASIL. Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009. Brasília. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm). Acesso em: 16 ago. 2020.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spraydried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, Chicago 65 (6), p.1248-1252, 2000. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>

CAETANO, G. DE S. et al. **Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado Agropec. Trop.** [s.l: s.n.]. 2012. Disponível em: <[www.agro.ufg.br/pat](http://www.agro.ufg.br/pat)>.

CAPARINO, O. A. Characteristics and quality of freeze- dried mango poder pre-frozen at diferente temperatures. **Philippine Agricultural Scientist Journal**, v. 83, p.338-343, 2000.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados**, v. 51, 2010.

CICHELLA FRABETTI, A.C. et al. Strawberry-hydrocolloids dried by continuous cast-tape drying to produce leather and powder. **Food Hydrocoll.** p.121., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107041>

CHONG, C. H. et al. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 3889–3896, 15 dez. 2013. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.042>

DAUD, Z. A. M.; ISMAIL, A.; SARMADI, B. Ascorbic Acid: Physiology and Health Effects. **Encyclopedia of Food and Health**, p. 266–274, 1 jan. 2016.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00045-3>

DURIGON, A. et al. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food Bioprod. Process.**, v.100, p.145–155,

2016. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>

DURIGON, A. et al. Cast-tape drying of tomato juice for the production of powdered tomato. **Food And Bioproducts Processing**, Elsevier BV, v. 100, p. 145-155, 2016.

Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.019>.

DURIGON, A. et al. Heat transfer and drying kinetics of tomato pulp processed by cast-tape drying. **Dry. Technol.**, v. 36, p.160–168, 2018.

<https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1304411>

ESPARZA, I. et al. Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. **Journal Of Environmental Management**, v. 265, p.110510,

2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110510>

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED

NATIONS. FAOSTAT. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 23 ago. 2021.

FAOSTAT, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS, DATABASE. Produção de Morango no Brasil e no Mundo em 2020.

Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em 10 de setembro de 2022.

FATHABAD, A. E. et al. Determination of heavy metal content of processed fruit products from Tehran's market using ICP- OES: a risk assessment study. **Food And Chemical Toxicology**, Elsevier BV, v. 115, p. 436-446, 2018.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.044>.

FELLOWS P.J. **Tecnologia do Processamento de alimentos**: princípios e prática, Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERREIRA, M.S.L. et al. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **J. Food Sci. Technol.**, v. 52, p. 822–830, 2015.

<https://doi.org/10.1007/s13197-013-1061-4>

FIJALKOWSKA, A. et al. Ultrasound as a Pretreatment Method to Improve Drying Kinetics and Sensory Properties of Dried Apple. **Journal of Food Process Engineering**, v. 39, n.3, p. 256–265, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12217>

FLORENTINO, G. I. B. et al. Characterization of a new food packaging material based on fish by-product proteins and passion fruit pectin. **Food Packaging And Shelf Life**, Elsevier BV, v. 33, p. 100920, 2022.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100920>

FONGIN, S., et al. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. **J. Food Eng.**, v. 247, p. 95–103, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>

FRABETTI, A. C. C.; DURIGON, A.; LAURINDO, J. B. Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying. **Lwt**, Elsevier BV, v. 96, p. 620-626, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.021>.

FRABETTI, A. C. C. et al. Strawberry-hydrocolloids dried by continuous cast-tape drying to produce leather and powder. **Food Hydrocolloids**, Elsevier BV, v. 121, p. 107041, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107041>.

FRANÇOSO, I. L. et al. Alterações físico-químicas em morangos (*Fragaria anassa* Duch.) irradiados e armazenados. **Food Science & Technology**, p. 614-619, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300017>

FREITAS, E. C.; SILVA, A. C. M.; SILVA, M. V. Análises de minerais zinco e manganês presentes na farinha de morango. **Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, São Paulo, v.10, n.60, p. 303-30, 2016.

GAVA, A.J., SILVA, C.A., FRIAS, J.R.G. **Tecnologia de alimentos** - Princípios e Aplicações, Nobel. ed. São Paulo, 2008.

GIAMPIERI, F. et al. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, n. 28, p. 9–19, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>

GEA. **Hygroscopicity**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gea.com/assets/a-14-a-hygroscopicity-170113.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

GORJANOVIĆ, S. et al. Evaluation of Apple Pomace Flour Obtained Industrially by Dehydration as a Source of Biomolecules with Antioxidant, Antidiabetic and Antiobesity Effects. **Antioxidants**, v. 9, n. 5, p. 413, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox9050413>.

GUSTAVSSON, J., CEDERBERG, C. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention, Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO). 2011. <https://doi.org/10.4337/9781788975391>

GÜZEL, M., AKPINAR, Ö. Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectins from fruit peels. **Food Bioprod. Process.**, v.115, p.126–133, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.009>

HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, N. R. et al. Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 312, p. 111893, 15 mar. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111893>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ et al. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo, 2008.

KOWALESKI, J. et al. Functional yogurt with strawberries and chia seeds. **Food Biosci.**, p.37, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100726>

KTENIOUDAKI, A. et al. A decision support tool for shelf-life determination of strawberries using hyperspectral imaging technology. **Biosystems Engineering**, v. 221, p. 105–117, 1 set. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.06.013>

KUROZAWA, L.E. et al. Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon. **J. Food Eng.**, v.123, p.157–

164, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.039>

LABUZA, T. P. (1980). Enthalpy/entropy compensation in food reactions. *Food Technol.*, 2,67-77.

LUIZ, M.R. **Estudo teórico e experimental de secagem de tomate ( *Lycopersicon esculentum* )**. Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia, 2012.

MAHANTI, N. K., CHAKRABORTY, S. K., SUDHAKAR, A., VERMA, D. K., SHANKAR, S., THAKUR, M., Singh, S., TRIPATHY, S., GUPTA, A. K., & SRIVASTAV, P. P. (2021). Refractance Window™-Drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. In *Future Foods* (Vol. 3). **Elsevier B.V.** <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100024>

MARAEI, R. W.; ELSAWY, K. M. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by  $\gamma$ -irradiation. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 10, n. 1, p. 80–87, 1 jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.12.004>.

MARQUES, L. G.. **Liofilização de Frutas Tropicais**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2008.

MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n.5,451–457, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.04.011>

MARGUÍ, E. et al. Determination of essential elements (Mn, Fe, Cu and Zn) in herbal teas by TXRF, FAAS and ICP-OES. **X-Ray Spectrometry**, Wiley, v. 51, n. 3, p. 204-213, 2021. <http://dx.doi.org/10.1002/xrs.3241>.

MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. et al. Influence of biopolymers and freeze-drying shelf temperature on the quality of a mandarin snack. **Lwt**, v. 99, p.57–61, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.040>

MARTINSEN, B.K., AABY, K., SKREDE, G. Effect of temperature on stability of anthocyanins, ascorbic acid and color in strawberry and raspberry jams. **Food Chem.**, v. 316, p.126297, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126297>

MATRA, M., TOTAKUL, P., WANAPAT, M. Utilization of dragon fruit waste by-products and non-protein nitrogen source: Effects on in vitro rumen fermentation, nutrients degradability and methane production. **Livest. Sci.**, v. 243, p.104386, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104386>

MESTRY, A.P., MUJUMDAR, A.S., THORAT, B.N. Optimization of Spray Drying of an Innovative Functional Food: Fermented Mixed Juice of Carrot and Watermelon. **Dry. Technol.**, v. 29, p.1121–1131, 2011. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.566968>

MILLER, K., FEUCHT, W., SCHMID, M. Bioactive compounds of strawberry and blueberry and their potential health effects based on human intervention studies: A brief overview. **Nutrients**, v. 11, p.1–12., 2019. <https://doi.org/10.3390/nu11071510>

MISRAN, A., et al. Composition of phenolics and volatiles in strawberry cultivars and

influence of preharvest hexanal treatment on their profiles. **Can. J. Plant Sci.**, v. 95, p.115–126, 2015. <https://doi.org/10.4141/CJPS-2014-245>

MOKRZYCKI, W.; TATOL, M.. **Colour difference  $\Delta E$** : a survey. Olsztyn: Machine Graphic & Vision, 2011. 29 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/236023905\\_Color\\_difference\\_Delta\\_E\\_-\\_A\\_survey](https://www.researchgate.net/publication/236023905_Color_difference_Delta_E_-_A_survey). Acesso em: 21 julho 2023.

MORGANO, M. A.; QUEIROZ, S. C. DO N.; FERREIRA, M. M. C. Determinação dos teores de minerais em sucos de frutas por espectrometria de emissão óptica em plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Scielo, v. 19, n. 3, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20611999000300009>

MOSQUERA, L.H. et al. N.Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Res. Int.**, v. 47, p. 201–206, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.019>

NEMZER, B. et al. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. **Food Chemistry**, Elsevier BV, v. 262, p. 242-250, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.047>.

NEPA (org.). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**: taco. 4. ed. Campinas: Unicamp, 2011. 164 p. Disponível em: [https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf). Acesso em: 05 dez. 20

NINDO, C.I. et al. Energy Utilization and Microbial reduction in a new film drying system. **Journal Of Food Processing Preservation**. Connecticut, p. 117-136, 2003. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00506.x>

OJEDIRAN, J. O., Okonkwo, C. E., Olaniran, A. F., Iranloye, Y. M., Adewumi, A. D., Erinle, O., Afolabi, Y. T., Adeyi, O., & Adeyi, A. (2021). Hot air convective drying of hog plum fruit (*Spondias mombin*): effects of physical and edible-oil-aided chemical pretreatments on drying and quality characteristics. *Heliyon*, 7(11), e08312. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2021.E08312>

OKOS, M.R. et al. Food dehydration. **Handbook of Food Engineering**. Second Edition. Elsevier. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.02913-9>

OLAIMAT, A. N. et al. **Microbial safety of oily, low water activity food products: A review**. **Food Microbiology** Academic Press, , 1 dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103571>

OLIVEIRA, G. S.; DA COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Characterization and hygroscopic behavior of lyophilized yellow mombin in pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1059–1064, 1 out. 2014.

OLIVEIRA, D. E. C. et al. Hygroscopicity of ‘sucupira-branca’ (*Pterodon emarginatus* vogel) fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 285–289, 2017. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p285-289>

ÖZCAN, M. M.; HACDSEFEROĞULLAR, H. The Strawberry (*Arbutus unedo* L.) fruits: chemical composition, physical properties and mineral contents. **Journal Of Food Engineering**, Elsevier BV., v. 78, n. 3, p. 1022-1028, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.014>.

PATHANIA, S.; KAUR, N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 27, p. 100295, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100295>.

PRATHAPAN, A. et al. Effect of heat treatment on curcuminoid, colour value and total polyphenols of fresh turmeric rhizome. **International Journal Of Food Science & Technology**, [S.L.], v. 44, n. 7, p. 1438-1444, jul. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01976.x>

PEREIRA, C. C. et al. Evaluation of the bioaccessibility of minerals from blackberries, raspberries, blueberries and strawberries. **Journal Of Food Composition And Analysis**, Elsevier BV, v. 68, p. 73-78, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.001>

PESSOA, T. et al. Avaliação sensorial de goiabas passas obtida por técnicas combinadas de desidratação osmótica e secagem. **Hollos**, Natal, v. 4, n. 27, p. 137-147, 2011. <https://doi.org/10.15628/holos.2011.638>

PICH, R. C. **Obtenção e caracterização do produto seco da pimenta rosa (*Schinus terebinthifolius* R.) por cast tape drying**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 22 fev. 2019.

PICH, R.C., de Andrade Batista, E.L., de Oliveira, L.S. et al. Characterization of Fresh and Dried Pink Pepper (*Schinus terebinthifolius* R.) by Cast-Tape Drying. **Food Bioprocess Technol** (2023). <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03095-0>

PIMENTEL, B. F.; MISOPOULOS, F.; DAVIES, J. A review of factors reducing waste in the food supply chain: The retailer perspective. **Cleaner Waste Systems**, v. 3, p. 100028, 1 dez. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100028>

PINTO, G. et al. Old and New Technological Processes to Produce Ingredients From New Sources: Characterization of Polyphenols Compounds in Food and Industrial Wastes. **Reference Module in Food Science**, Elsevier, 2023, ISBN 9780081005965, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00025-1>

QUE, F. et al. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v. 43, p.1195–1201, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x>

RAGHAVI, L.M.; MOSES, J.A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.. Refractance window drying of foods: a review. **Journal Of Food Engineering**, Elsevier BV, v. 222, p. 267-275, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032>.

RAHMAN, M. S. Water Activity and Glass Transition of Foods. **Reference Module in Food Science**, 1 jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21184-0>

RAJ, G. B.; DASH, K. K.. Development of Hydrocolloids Incorporated Dragon Fruit Leather by conductive hydro drying: characterization and sensory evaluation. **Food Hydrocolloids For Health**, Elsevier BV, v. 2, p. 100086, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100086>.

RESENDE, L.M., FRANCA, A.S., OLIVEIRA, L.S. Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. **Food Chemistry**, v. 270, p. 53–60, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>

REY, L. Fundamental aspects of lyophilization. Aspect Théoriques et Industriels de la Lyophilization. Paris. Hermann, p. 23-43, 1964.

ROOS, Yrjö. Melting and glass transitions of low molecular weight carbohydrates. **Carbohydrate Research**, [S.L.], v. 238, p. 39-48, jan. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-6215\(93\)87004-c](http://dx.doi.org/10.1016/0008-6215(93)87004-c).

ROOS, Y.H. Phase Transition in Foods. Academic Press, San Diego, 1995 b.

ROOS, Y.H., Silalai, N. Glass transitions: opportunities and challenges. In: Aguilera, J.M., Simpson, R., Welte-Chanes, J., Bermudez-Aguirre, D., Barbosa-Canovas, G. (Eds.), **Food Engineering Interfaces**, 2011.

SABLANI, S. S.; KASAPIS, S.; RAHMAN, M. S. Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 266–271, jan. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025>

SAGAR, N. A. et al. Fruit and Vegetable Waste: bioactive compounds, their extraction, and possible utilization. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, v. 17, n. 3, p. 512-531, 2018. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12330>.

SALAZAR-ORBEA, Gabriela L. et al. Stability of phenolic compounds in apple and strawberry: effect of different processing techniques in industrial set up. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 401, p. 134099, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134099>.

SANTOS, D., et al. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients: A review on production process, health benefits and technological functionalities. **Lwt**, v.154, p.112707, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112707>

SHENOY, N. Ascorbic Acid in Cancer Treatment: Let the Phoenix Fly. **Cancer Cell**, v. 34, p. 700–706, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ccell.2018.07.014>

Shuen, G. W. et al. Effects of drying methods on the physicochemical properties and antioxidant capacity of Kuini powder. *Brazilian Journal of Food Technology*, p.24, 2021. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08620>

SILES, J.A. et al. Biomethanization of waste derived from strawberry processing: advantages of pretreatment. **Journal Of Cleaner Production**, v. 42, p. 190-197, 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.012>.

SINGLETON, V.L., ROSSI, J.A.J. Colorimetry to total phenolics with phosphomolybdic acid reagents. **Am. J. Enol. Vinic.**, v.16, p.144–58, 1965. <http://dx.doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>

- SKROVANKOVA, S. et al. 2015. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. **Int. J. Mol. Sci.**, v.16, p. 24673–24706, 2015. <https://doi.org/10.3390/ijms161024673>
- SOUZA, V. R. et al. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, 1 ago. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>
- STĘPIEŃ, A.; WITCZAK, M.; WITCZAK, T. Sorption properties, glass transition and state diagrams for pumpkin powders containing maltodextrins. **Lwt**, Elsevier BV., v. 134, p. 110192, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110192>.
- STÜBLER, A.S., et al. Matrix-and technology-dependent stability and bioaccessibility of strawberry anthocyanins during storage. **Antioxidants**, v.10, p.1–23, 2021. <https://doi.org/10.3390/antiox10010030>
- SUBRAMANYAM, R., NARAYANAN, M., RAO, D.G. Engineering Studies on Moisture Diffusivity of Solid Food Products during Processing – A Review. **ChemBioEng Rev.**, v. 4, p.304–309, 2017. <https://doi.org/10.1002/cben.201600018>
- SZADZIŃSKA, J. et al. Microwave and ultrasound enhancement of convective drying of strawberries: Experimental and modeling efficiency. **Int. J. Heat Mass Transf.**, v.103, p.1065–1074, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.001>
- TACO. Campinas: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação - Nepa, 2011. Disponível em: [https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco\\_4\\_edicao\\_ampliada\\_e\\_revisada.pdf](https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf). Acesso em: 01 set. 2022.
- TENORE, A. et al. Water activity in subaerial microbial biofilms on stone monuments. **Science of the Total Environment**, v. 900, 20 nov. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165790>
- TERESHCHENKO, A. G. Deliquescence: Hygroscopicity of Water-Soluble Crystalline Solids. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 104, n. 11, p. 3639–3652, 1 nov. 2015. <https://doi.org/10.1002/jps.24589>
- TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411–418, out. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- TONON, R. V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **J. Food Eng.**, v. 94, p. 215–221, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009>
- TRUJILLO-REYES, Ángeles et al. Extraction of phenolic compounds and production of biomethane from strawberry and raspberry extrudates. *Biochemical Engineering Journal*, [S.L.], v. 147, p. 11-19, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2019.03.023>.
- TYLEWICZ, U. et al. Antioxidant and antimicrobial properties of organic fruits subjected to PEF-assisted osmotic dehydration. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*,

v. 62, p.102341, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102341>

USDA: united states department of agriculture. United States Department of Agriculture. 2022. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/2263887/nutrients>. Acesso em: 12 set. 2022.

VAN BOEKEL, M. A. J. S. Moisture content and water activity relations in honey: A Bayesian multilevel meta-analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 123, p. 105595, out. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105595>

VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, M. et al. Utilization of strawberry and raspberry waste for the extraction of bioactive compounds by deep eutectic solvents. **Lwt**, v.130, p.109645, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109645>

VILLAMIL-GALINDO, E., VAN DE VELDE, F., PIAGENTINI, A.M., 2020. Extracts from strawberry by-products rich in phenolic compounds reduce the activity of apple polyphenol oxidase. **Lwt**, v.133, p.110097, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110097>

XU, B. et al. Effect of multi-mode dual-frequency ultrasound pretreatment on the vacuum freeze-drying process and quality attributes of the strawberry slices. **Ultrasonics Sonochemistry**, Elsevier BV, v. 78, p. 105714, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105714>.

WAN, M. L. Y.; CO, V. A.; EL-NEZAMI, H. Dietary polyphenol impact on gut health and microbiota. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n.4, p.690–711, 2021. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1744512>

WANG, C. et al. Effects of ultrasound and ultra-high pressure pretreatments on volatile and taste compounds of vacuum-freeze dried strawberry slice. **Lwt**, Elsevier BV., v. 160, p. 113232, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113232>.

YOUSEFI, S., EMAM-DJOMEH, Z., MOUSAVI, S.M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). **J. Food Sci. Technol.**, v.48, p.677–684, 2010. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0195-x>

ZIA, M. P.; ALIBAS, I. Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro bioaccessibility of blueberry fruits. **Food Bioscience**, v. 42, p. 101179, 1 ago. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101179>

ZHANG, L. et al. Effects of Drying Methods on the Aroma Components and Quality of *Capsella Bursa-Pastoris L.* **Journal of Food Process Engineering**, v.39, n.2, p.107–120, 2016. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12204>

ZHANG, L. et al. Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices. **Food Chemistry**, v. 331, p. 127203, 30 nov. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127203>

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. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

ZOTARELLI, M. F.; PORCIUNCULA, B. D. A.; LAURINDO, J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. **Journal Of Food Engineering**, Elsevier BV, v. 108, n. 4, p. 523-531, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.014>.

ZOTARELLI, M. F. et al. Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window. **Food Research International**, Elsevier BV, v. 69, p. 410-417, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.013>.

ZOTARELLI, M. F. et al. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v. 305, p. 447–454, 1 jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.027>