



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**



Faculdade de Engenharia Química  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos

---

**USO DE DIFERENTES METODOLOGIAS NA SECAGEM DE  
JABUTICABA E SEUS IMPACTOS NOS COMPOSTOS  
BIOATIVOS**

**Gabriela Borges de Andrade**

**Patos de Minas - MG**

**2022**



---

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Faculdade de Engenharia Química



Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos

---

# **USO DE DIFERENTES METODOLOGIAS NA SECAGEM DE JABUTICABA E SEUS IMPACTOS NOS COMPOSTOS BIOATIVOS**

**Gabriela Borges de Andrade**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA) da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Alimentos

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos e Produtos

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio de Souza Barrozo

Coorientador: Prof. Dr. Neiton Carlos da Silva

**Patos de Minas - MG**

**2022**

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

---

A553u     Andrade, Gabriela Borges de, 1991-  
2022        Uso de diferentes metodologias na secagem de jabuticaba e seus  
              impactos nos compostos bioativos [recurso eletrônico] / Gabriela Borges  
              deAndrade. - 2022.

Orientador: Marcos Antônio de Souza Barrozo.

Coorientador: Neiton Carlos daSilva.

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.2022.5375>

Inclui bibliografia.

1. Tecnologia de alimentos. I. Barrozo, Marcos Antônio de Souza,  
1961-, (Orient.). II. Silva, Neiton Carlos da, (Coorient.). III.  
Universidade Federalde Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos  
 de Minas

Av. Getúlio Vargas, 230 - Bairro Centro, Patos de Minas-MG, CEP 38700-103  
 Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 7/2022 - PPGEA				
Data:	Vinte e oito de novembro de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	16:00	Hora de encerramento:	18:38
Matrícula do Discente:	42012EAL007				
Nome do Discente:	Gabriela Borges de Andrade				
Título do Trabalho:	Uso de Diferentes Metodologias na Secagem de Jabuticaba e Seus Impactos nos Compostos Bioativos				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP - MConf) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Marcos Antonio de Souza Barrozo (Presidente - Orientador), Priscila Bernardes Silva (Membro Externo) e Ricardo Corrêa de Santana (Membro UFU).

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 título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Antonio de Souza Barrozo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/11/2022, às 18:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/11/2022, às 18:40, 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 **Priscila Bernardes Silva, Usuário Externo**, em 28/11/2022, às 18:44, 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 **4057407** e o código CRC **A364032E**.

---

GABRIELA BORGES DE ANDRADE

**USO DE DIFERENTES METODOLOGIAS NA SECAGEM DE JABUTICABA E  
SEUS IMPACTOS NOS COMPOSTOS BIOATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA) da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos e Produtos

Patos de Minas, data 28 de novembro de 2022

Banca Examinadora:

---

Marcos Antônio de Souza Barrozo – Titulação (UFU)

---

Priscila Bernardes Silva – Titulação (UFU)

---

Ricardo Corrêa de Santana – Titulação (UFU)

## AGRADECIMENTOS

Ao desenvolvimento desse trabalho e em preparação para a defesa da Dissertação do Mestrado que concluo, gostaria de agradecer a Deus por ter me abençoado em cada etapa vivida durante essa fase da minha vida, me proporcionando inteligência, sabedoria e discernimento nos momentos necessários. Agradeço também por me proporcionar a graça de ter vivido junto ao meu pai José Silvio até seus últimos momentos em vida. Meu pai é a minha grande inspiração para não desistir e a persistência é em respeito a todo o seu esforço e amor por mim, e por sempre ter me direcionado ao caminho do estudo e da busca pelo conhecimento. Pai, o senhor sempre será minha inspiração! Seu exemplo e seu amor me ajudaram em muito a definir meu caráter e você sempre viverá em meu coração. Sei que sempre estará ao meu lado e neste momento sinto seu peito cheio de orgulho. Preciso agradecer também a minha mãe Hélida, que exerceu eximamente o seu papel junto ao meu pai, e aos meus irmãos Lucas e Juninho que estiveram comigo em todos os momentos.

Agradeço também a todo o corpo docente da Universidade Federal de Uberlândia, que compartilharam seus conhecimentos e agregaram na minha vida acadêmica. Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador Marcos Antônio e, em especial, ao meu coorientador, por ser resiliente e entender as dificuldades que cruzaram meu caminho durante a trajetória do meu mestrado. Neiton Carlos, obrigada por todas as instruções, correções e paciência que, com sabedoria e dom de ensinar, teve para comigo. E obrigada a todos os funcionários da universidade que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste curso.

E por fim, quero agradecer aos meus colegas, que dividiram comigo a árdua tarefa de nos tornar Mestres em Engenharia de Alimentos. Aos meus amigos, que me apoiaram e não deixaram que eu desistisse sob nenhuma circunstância.

Por fim, gostaria que soubessem que essa conquista também é de vocês!

Muito obrigada!

## RESUMO

A fruticultura é um dos setores de destaque no agronegócio brasileiro, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais de frutas. Na cadeia produtiva de frutas, processos que permitam aumentar a vida útil ou reaproveitar esses alimentos, como a secagem, são vantajosos. Contudo, o emprego de metodologias adequadas na secagem é essencial para a conservação das propriedades do produto. A secagem de frutos de jabuticaba (*Myrciaria* sp.) para obtenção do produto em pó pode apresentar diversas vantagens e contribuir para preservação do alto teor de compostos benéficos à saúde contidos no fruto. Esse estudo objetivou avaliar o processo de secagem da jabuticaba (fruto inteiro) por *spray dryer* e micro-ondas e avaliar os impactos dessas metodologias nos produtos finais. Na secagem em *spray dryer* foi verificado o efeito de quatro variáveis independentes: temperatura do ar de secagem (°C); vazão do ar de secagem (m<sup>3</sup>/min); % de maltodextrina e vazão de alimentação (L/h). Na secagem em micro-ondas foi avaliado o impacto da potência e concentração de maltodextrina. As variáveis-resposta analisadas para ambas as metodologias foram: umidade, teor de compostos fenólicos totais, teor de flavonoides totais, acidez total titulável, teor de ácido ascórbico e cor. Para o *spray dryer* também foi analisado o rendimento do pó obtido. A secagem em *spray dryer* resultou em pós com coloração variando de rosa claro a rosa escuro e com baixas umidades (abaixo de 5%). Houve boas retenções de compostos bioativos, com impacto de todas as variáveis, principalmente sob temperaturas maiores (acima de 105°C), menores concentrações de maltodextrina (15%) e baixa vazão de alimentação (0,5 l/h). O uso de micro-ondas também apresentou bons resultados, porém o pó obtido apresentou coloração escura devido a perda de luminosidade por uma possível carbonização do produto. Constatou-se efeito negativo do uso de maltodextrina e, de uma forma geral, os melhores resultados foram nos experimentos com potências intermediárias (280 a 490W) e sem o uso do agente carreador.

**Palavras-chave:** cinética de secagem; micro-ondas; *Myrciaria* spp.; *spray dryer*.



## ABSTRACT

Fruit growing is one of the prominent sectors in Brazilian agribusiness, with Brazil being one of the largest fruit producers in the world. In the fruit production chain, processes that allow increasing the shelf life or reusing these foods, such as drying, are advantageous. However, the use of appropriate methodologies in drying is essential for the conservation of the product's properties. Drying jaboticaba (*Myrciaria* sp.) fruits to obtain the powdered product can have several advantages and contribute to the preservation of the high content of beneficial health compounds contained in the fruit. This study aimed to evaluate the drying process of jaboticaba (whole fruit) by spray dryer and microwave and evaluate the impacts of these methodologies on the final products. In spray drying, the effect of four independent variables was verified: drying air temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ); drying air flow ( $\text{m}^3/\text{min}$ ); % maltodextrin and feed flow rate ( $\text{l/h}$ ). In microwave drying, the impact of potency and maltodextrin concentration was evaluated. The response variables analyzed for both methodologies were: moisture, total phenolic compounds, total flavonoids, total titratable acidity, ascorbic acid content and color. For the spray dryer, the yield of the powder obtained was also analyzed. Drying in a spray dryer resulted in powders with a color ranging from light pink to dark pink and with low humidity (below 5%). There were good retentions of bioactive compounds, with an impact of all variables, mainly under higher temperatures (above  $105^{\circ}\text{C}$ ), lower concentrations of maltodextrin (15%) and low feed flow ( $0.5 \text{ l/h}$ ). The use of microwaves also showed good results, but the powder obtained showed a dark color due to loss of luminosity due to a possible carbonization of the product. There was a negative effect of the use of maltodextrin and, in general, the best results were in the experiments with intermediate potencies (280 to 490W) and without the use of the carrier agent.

**Keywords:** drying kinetics; infra-red; *Myrciaria* spp.; *spray dryer*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Jabuticabeira. ....	18
Figura 2 - Frutos de jabuticaba. ....	19
Figura 3 - <i>Myrciaria cauliflora</i> e <i>Myrciaria jaboticaba</i> , respectivamente. ....	20
Figura 4 - Estrutura básica de um flavonoide. ....	27
Figura 5 - Estrutura química do ácido cítrico. ....	28
Figura 6 - Forma reduzida e oxidada da vitamina C. ....	30
Figura 7 - Mecanismo de secagem em spray dryer e equipamento de utilização em baixa escala (Modelo LM MSD 1.0, LabMaq, Brasil). ....	35
Figura 8 - Diagrama representativo das ondas planas e da amplitude dos campos elétrico (E0) e magnético (H0). ....	40
Figura 9 - Obtenção da polpa dos frutos de jabuticaba. ....	51
Figura 10 - Acondicionamento da polpa de jabuticaba em copos descartáveis para posterior secagem. ....	51
Figura 11 - Aparelho de micro-ondas Panasonic NN-ST254W. ....	55
Figura 12 - Colorímetro digital modelo Konica Minolita CR-400/410. ....	58
Figura 13- Secagem da polpa do fruto sem maltodextrina em <i>spray dryer</i> . ....	65
Figura 14 - Secagem da polpa do fruto e obtenção do pó em <i>spray dryer</i> . ....	66
Figura 15 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas na resposta Rendimento. ....	68
Figura 16 - Efeito das variáveis do, PCC no Rendimento obtido no <i>spray dryer</i> . ....	70
Figura 17 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Umidade do Pó. ....	72
Figura 18 - Efeito das variáveis do PCC na Umidade do Pó obtido no <i>spray dryer</i> . ....	74
Figura 19 - Resultados obtidos para o Teor de Fenólicos Totais (TPC) na secagem por <i>spray dryer</i> em função das variáveis independentes. ....	75
Figura 20 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Teor de Compostos Fenólicos Totais. ....	77
Figura 21 - Efeito das variáveis do PCC no Teor de Compostos Fenólicos Totais. ....	78
Figura 22 - Resultados obtidos para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) na secagem por <i>spray dryer</i> em função das variáveis independentes. ....	80
Figura 23 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Teor de Flavonoides Totais. ....	82

Figura 24 - Efeito das variáveis do PCC no Teor de Flavonoides Totais (TFC). .....	83
Figura 25 - Resultados obtidos para o Acidez Total Titulável (ATT) na secagem em <i>spray dryer</i> em função das variáveis independentes.....	84
Figura 26 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Acidez. ....	86
Figura 27 - Efeito das variáveis do PCC na Acidez Total Titulável (ATT). .....	87
Figura 28 - Resultados obtidos para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) na secagem por <i>spray dryer</i> em função das variáveis independentes. ....	88
Figura 29 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Teor de Ácido Ascórbico.....	90
Figura 30 - Efeito das variáveis do PCC no Teor de Ácido Ascórbico. ....	91
Figura 31 – Cor dos pós obtidos no <i>spray dryer</i> . ....	92
Figura 32 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta de luminosidade (L*). .....	95
Figura 33 - Efeito das variáveis do PCC na luminosidade (L*). .....	96
Figura 34 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta de a*. ....	97
Figura 35 - Efeito das variáveis do PCC para parâmetro de cor a* .....	99
Figura 36 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta de b*. ....	100
Figura 37 - Efeito das variáveis do PCC para parâmetro de cor b*. ....	101
Figura 38 - Pós obtidos após secagem em micro-ondas sem maltodextrina (a) e com maltodextrina (b). ....	103
Figura 39 - Resultados do Teor de Compostos Fenólicos na desidratação por micro-ondas. ....	104
Figura 40 - Resultados do Teor de Compostos Flavonoides na desidratação por micro-ondas. ....	106
Figura 41 - Resultados da Acidez Total Titulável (ATT) na desidratação por micro-ondas. ....	108
Figura 42 - Resultados do Teor de Ácido Ascórbico na desidratação por micro-ondas. ....	110
Figura 43 - Pós obtidos na desidratação por micro-ondas em diferentes temperaturas. ....	112
Figura 44 - Resultados de luminosidade (L*) na desidratação por micro-ondas. ....	113
Figura 45 - Resultados do parâmetro a* na desidratação por micro-ondas.....	115
Figura 46 - Resultados do parâmetro b* na desidratação por micro-ondas.....	117
Figura 47 - Faixas de espectro infravermelho em função do comprimento da onda de radiação emitida. ....	126
Figura 48 - Curva de cinética de secagem. ....	129
Figura 49 - Analisador de umidade por infravermelho. ....	131

Figura 50 - Curvas de cinéticas de desidratação nas 4 temperaturas..... 133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da jabuticaba em <i>spray dryer</i> .....	52
Tabela 2 - Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para secagem da jabuticaba em <i>spray dryer</i> .....	53
Tabela 3 - Planejamento dos experimentos na secagem por micro-ondas. ....	56
Tabela 4 - Resultados obtidos na caracterização da polpa de jabuticaba. ....	62
Tabela 5- Resultados obtidos para Rendimento e Umidade do Pó na secagem em <i>spray dryer</i> em função das variáveis independentes. ....	66
Tabela 6 - Experimentos de menores e maiores rendimentos obtidos na secagem em <i>spray dryer</i> . ....	68
Tabela 7 - Resultados experimentos realizados no ponto central para os compostos bioativos. ....	92
Tabela 8 - Resultados do PCC para as variáveis Cor ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ). ....	93
Tabela 9 - Umidades finais obtidas nas desidratações por micro-ondas. ....	102
Tabela 10 - Modelos de cinética de secagem da literatura. ....	132
Tabela 11 - Coeficiente do modelo de Midilli (2002) na secagem da polpa de jabuticaba no infravermelho.....	133

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
3.1	Fruticultura Brasileira	16
3.2	Jaboticaba	17
3.2.1	Origem e taxonomia	17
3.2.2	Aspectos morfológicos e usos da jaboticaba	18
3.2.3	Composição nutricional	21
3.2.4	Produção e comercialização de jaboticaba no Brasil	21
3.3	Compostos bioativos na jaboticaba	23
3.3.1	Compostos Fenólicos	23
3.4	Secagem de alimentos	31
3.6	Metodologias de secagem de alimentos	34
3.6.1	Spray Dryer	34
3.6.2	Micro-ondas	39
3.7	Agentes carreadores	43
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>50</b>
4.1	Materiais	50
4.2	Preparo e armazenamento das amostras	50
4.3	Metodologias de secagem	51
4.3.1	Secagem em <i>spray dryer</i>	51
4.3.2	Secagem por micro-ondas	55
4.4	Análises realizadas	57
4.4.1	Umidade	57
4.4.2	Cor Instrumental	57
4.4.3	Compostos bioativos	58
4.4.4	Cinzas	60
4.4.5	Densidade Absoluta	60
4.4.6	Potencial Hidrogeniônico (pH)	60

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
<b>5.1 Caracterização da polpa de jabuticaba .....</b>	<b>62</b>
<b>5.2 Experimentos em <i>spray dryer</i> .....</b>	<b>65</b>
5.2.1 Rendimento.....	67
5.2.2 Umidade final .....	71
5.2.3 Compostos Bioativos.....	75
5.2.4 Cor .....	92
<b>5.3 Secagem por micro-ondas .....</b>	<b>102</b>
5.3.1 Teor de Fenólicos Totais (TPC) .....	103
5.3.2 Teor de Flavonoides Totais (TFC) .....	105
5.3.3 Acidez Total Titulável (ATT).....	108
5.3.4 Teor de Ácido Ascórbico (TAA).....	110
5.3.5 Cor .....	112
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>123</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>125</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE - CINÉTICA DE SECAGEM.....</b>	<b>126</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>126</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>131</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>132</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A jabuticaba é uma fruta que pertence à família *Myrtaceae sp.*, sendo fruto de uma árvore nativa da Mata Atlântica no sul do Brasil, com clima predominantemente subtropical (ALEXANDRE et al., 2006; DANNER et al., 2006; LIMA et al., 2008), a qual se desenvolve bem em solos com bom suprimento de água, sendo sua floração observada durante dois meses ao ano, que compreendem de agosto a setembro e de janeiro a fevereiro. Entre suas diversas cultivares a espécie Sabará (*Myrciaria jaboticaba*) é a mais conhecida e apreciada das jabuticabas, por sua composição e teor adocicado (DONADIO, 2000; LIMA et al., 2008).

A fruta contém alto teor de carboidratos, além de uma variedade de outros compostos, tais como fibras, vitamina C, flavonoides, antocianinas e, ainda, sais minerais como ferro, cálcio e fósforo, segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011). Os compostos fenólicos e antocianinas, presentes nesta fruta, apresenta potencial efeito benéfico a saúde, com propriedades anti-inflamatórias e anticancerígenas, devido à sua capacidade antioxidante no combate aos radicais livres e envelhecimento das células (KONG et al., 2003; REYNERTSON et al., 2006; SILVA et al., 2014). Contudo, em razão da grande quantidade de água e açúcares presentes na polpa, seu período de comercialização é curto pela rápida alteração da aparência, decorrente da intensa perda de água, deterioração e fermentação da polpa, que podem ser verificados em dois a três dias após a colheita (HENRIQUE et al., 2015; MANIGLIA et al., 2019; SATO et al., 2009).

Frente a baixa durabilidade de comercialização do produto *in natura*, a obtenção de um produto por meio de secagem se mostra como uma alternativa para a conservação e maior oferta desta fruta (NUNES et al., 2020). Aliados a demanda crescente do mercado consumidor por produtos diversificados, de qualidade e obtidos de forma que não comprometam o meio ambiente, diferentes processos de secagem têm sido estudados na busca pelo maior aproveitamento de frutos com alta perecibilidade. Destaca-se ainda o potencial da reutilização de resíduos como cascas e sementes que são muitas vezes descartados pelas indústrias de alimentos (MOSES et al., 2014).

A secagem visando a obtenção de um produto em pó, representa uma alternativa na busca por melhorar a conservação e disponibilidade em frutos com alta perecibilidade, além de apresentar vantagens como: facilidade no transporte e comercialização; baixo custo de armazenagem devido à economia de energia por não necessitar de refrigeração; redução das perdas pós-colheita; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por



longos períodos de tempo; disponibilidade do fruto em qualquer época do ano, bem como agregação de valor ao produto final comercializado (COSTA et al., 2003; PESSOA et al., 2011).

Entretanto, uma vez que o processo de secagem, envolve a aplicação de calor sob condições controladas, o mesmo, quando realizado de forma inadequada, pode produzir alterações indesejadas na composição do produto final, assim como possíveis perdas tanto na qualidade sensorial quanto no valor nutricional e, por este motivo, a escolha das melhores condições e métodos de secagem a serem empregados em cada tipo de alimento é de suma importância (FELLOWS, 2006).

Frente as variáveis que podem influenciar o processo de secagem, as características físico-químicas do material, bem como as condições do processamento e o método empregado devem ser consideradas. Dessa forma, o ideal é buscar um equilíbrio entre a eficiência energética, o tempo, o método de secagem e a qualidade do produto obtido, de forma a atingir o objetivo econômico, além de garantir um alimento seguro e com a característica sensorial desejada (SABLANI; RAHMAN, 2008).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar o processo de secagem da jabuticaba através de diferentes metodologias, avaliando seus impactos nos compostos bioativos.

### 2.2 Objetivos específicos

Realizar a caracterização do fruto *in natura*;

Avaliar o impacto de cada metodologia (*spray dryer* e micro-ondas) e suas variáveis operacionais nos teores de compostos bioativos (teor de fenólicos totais, teor de flavonoides totais, teor de ácido cítrico, teor de ácido ascórbico e cor presentes nos produtos obtidos).

Comparar os resultados obtidos em cada método de secagem com os teores de compostos bioativos originalmente presentes nos materiais *in natura* (antes da secagem).

Definir a melhor técnica de secagem para a jabuticaba dentre as metodologias propostas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Fruticultura Brasileira

As frutas e os sucos obtidos a partir dessas constituem importantes fontes nutricionais para os seres humanos, sobretudo em virtude do fornecimento de fibras, nutrientes e metabólicos benéficos. As frutas de maior consumo mundial são maçã, uva, banana, laranja, melancia, morango e kiwi. A produção de frutas é uma atividade econômica que contribui para a geração de receitas em diversos países do mundo. E, por esse motivo, a fruticultura é um dos setores de maior crescimento na agricultura, estando em constante desenvolvimento (GARCIA, 2014; ZHOU et al., 2020).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), o maior produtor de frutas no mundo é a China. O segundo lugar no ranking é ocupado pela Índia e o Brasil figura como terceiro maior produtor. No entanto, apesar de ocupar posição de destaque quanto ao volume produzido, o Brasil responde por apenas 2,4% das exportações de frutas no mundo (FAO, 2021).

Dados divulgados pela Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS) evidenciaram que o Brasil exportou, aproximadamente, 1.217.894.770,00 kg de frutas em 2021, o que resultou em 1.060.6545.476,00 de dólares. O destaque do país na produção de frutas decorre de investimentos no setor que contribuíram para maior competitividade brasileira e consequente aumento da participação do setor na economia nacional (ABRAFRUTAS, 2022; SILVA, 2019).

No Brasil, o setor de produção de frutas é considerado diversificado e a produção concentra-se, sobretudo, na região Nordeste, sendo que essa responde por cerca de 52% do volume total de frutas produzidas no país. O Sudeste é responsável por 26% da produção, com destaque para o cultivo de citros. As culturas que ocupam maior área cultivada no território nacional são a laranja, a banana, o cacau e o caju. Além disso, as culturas da banana e da laranja apresentam os maiores valores de produção e o cultivo de banana ocorre em todo o Brasil, enquanto o cultivo de laranja concentra-se, predominantemente, no estado de São Paulo (VIDAL, 2021).

Um aspecto relevante sobre a fruticultura brasileira é a possibilidade de expansão da produção e aumento do volume total exportado de frutas no país, visto que o Brasil apresenta condições climáticas diversificadas permitindo o cultivo de muitas espécies frutíferas.

Ademais, há uma grande diversidade de espécies de frutas nativas do Brasil que ainda não são exploradas e/ou possuem capacidade de ampliação da participação comercial devido ao grande potencial dessas quanto às propriedades funcionais, valor nutritivo, atividade antioxidante e teor de carotenoides e vitaminas. Dentre essas, destacam-se a acerola, o açaí, o buriti, a mangaba, a jaboticaba e o cajá (ZUCOLOTO et al., 2015).

Diante disso, o desenvolvimento de novas técnicas e implementação da tecnologia de preservação com máximo aproveitamento nutricional e das propriedades sensoriais destes produtos é uma forma de promover seu maior aproveitamento, abrindo portas para melhorias nas exportações, assim como no aumento da variabilidade de produtos (GOMES et al., 2007).

Além disso, o país apresenta uma grande riqueza da flora, o que constitui patrimônio de grande valor genético e cultural. A constante busca dos produtores por novas opções de cultivo e melhorias na industrialização dos cultivares, assim como a grande possibilidade de expansão desse setor a nível nacional, são fatores importantes na busca por suprir a crescente demanda dos consumidores, sendo frequente a procura de novas opções de frutas disponíveis no mercado (TEIXEIRA, 2011).

Dentre os frutos nativos com grande potencial tecnológico na fruticultura, destacam-se os frutos da família botânica *Myrtaceae*, sobretudo os pertencentes ao gênero *Myrciaria* como a jaboticaba. As principais características que evidenciam a potencialidade de aplicação desse fruto na indústria de alimentos são o sabor agradável, o alto rendimento de polpa e o alto teor de substâncias que apresentam propriedades antioxidantes (BORGES et al., 2014; CAMLOFSKI, 2008).

## **3.2 Jaboticaba**

### **3.2.1 Origem e taxonomia**

A jaboticabeira é uma espécie vegetal nativa da região Centro-Sul brasileira, sendo sua origem atribuída ao bioma Mata Atlântica (OLIVEIRA et al., 2019). A jaboticaba foi introduzida à cultura popular brasileira pelos indígenas tupis, os quais se referiram a essa espécie como “*iapotikaba*”, termo cujo significado remete a fruto em botão. O uso desse termo fazia alusão ao formato arredondado característico do fruto (CITADIN et al., 2010; DANNER et al., 2006).

No que tange à taxonomia, a jabuticabeira é uma espécie vegetal pertencente à família botânica *Myrtaceae*, a qual é considerada uma das famílias de maior importância devido ao elevado número de espécies frutíferas. A família *Myrtaceae* compreende entre 3.800 e 5.800 espécies distribuídas em 121 gêneros e está amplamente distribuída em regiões tropicais e subtropicais do planeta (SERAGLIO et al., 2018). Quanto ao gênero, a jabuticabeira pertence ao gênero *Myrciaria*, o qual compreende cerca de 99 espécies das quais 21 são nativas do território brasileiro. Espécies do gênero *Myrciaria* são amplamente distribuídas em outros biomas brasileiros além da Mata Atlântica, e podem ser encontradas no Cerrado, Pampa e Floresta Amazônica. Algumas dessas espécies, sobretudo *Myrciaria jaboticaba* (Vell.) e *Myrciaria cauliflora* (Mart.) Berg, são comumente encontradas em hortos e pomares domésticos no país (BORGES et al., 2014; INPI, 2012).

### 3.2.2 Aspectos morfológicos e usos da jabuticaba

Do ponto de vista morfológico, a jabuticabeira apresenta perfil alto, com altura variável entre 8 e 15 metros e diâmetro à altura do peito de 40 centímetros. O tronco é liso, geralmente reto e cilíndrico, apresenta nodosidade e coloração amarelo avermelhada. Além disso, o tronco é ramificado e possui casca lisa, de coloração pardo-clara, conforme apresentado na Figura 1 (CASAGRANDE et al., 2000; LORENZI et al., 2006).

Figura 1 - Jabuticabeira.



Fonte: National Geographic (2020).

A folhagem é perenifólia e espessa e as folhas são lanceoladas, glabras e opostas e, quando novas, possuem coloração avermelhada. O comprimento das folhas varia entre 1,5 e 6,6 centímetros e a largura compreende entre 0,6 e 1,6 centímetros, sendo verificada a presença de uma nervura central saliente na face inferior da folha e levemente impressa na porção superior e de duas nervuras marginais. O pecíolo é considerado curto e possui entre 1,5 e 3 mm de comprimento (CASAGRANDE et al., 2000; LORENZI et al., 2006).

As flores possuem coloração branca e quatro pétalas e são distribuídas ao longo de racemos multifloros. Essas emergem diretamente em pequenos nódulos sobre o tronco ou sobre seus ramos principais, o que caracteriza a cauliflora (CASAGRANDE et al., 2000; LORENZI et al., 2006). O florescimento ocorre entre os meses de março e outubro e a produção de frutos concentra-se, geralmente, em uma única safra. Embora raro, pode ocorrer duas frutificações durante o ano, sendo essas entre os meses de agosto e novembro (OLIVEIRA et al., 2019; WU et al., 2013).

Os frutos da jabuticabeira são popularmente conhecidos como jabuticaba, sendo também referidos como bagas brasileiras, e apresentam elevada aceitação de mercado. Morfologicamente, os frutos constituem bagas pequenas, apresentando diâmetro variável entre três e quatro centímetros. A casca do fruto é grossa e possui coloração que varia entre verde e violeta escuro, a depender do estágio de maturação (Figura 2) (OLIVEIRA et al., 2019).

Figura 2 - Frutos de jabuticaba.



Fonte: Kãgi (2014).

No interior do fruto estão contidas entre uma e quatro sementes e a polpa. Geralmente, a casca não é consumida, sendo a parte de interesse alimentício a polpa, cuja textura é gelatinosa e o sabor adocicado e adstringente em função do teor considerável de açúcares e ácidos,

respectivamente. O sabor adocicado e a acidez são fortemente influenciados pelo grau de maturação do fruto (DONADIO, 2000; OLIVEIRA et al., 2019).

A espécie *Myrciaria cauliflora* é conhecida popularmente como jabuticaba ‘paulista’, ‘açú’ ou ‘ponhema’ enquanto a espécie *Myrciaria jaboticaba* é referida como jabuticaba ‘sabará’ (Figura 3). No geral, os frutos de *M. jaboticaba* são pequenos e possuem pedúnculo de coloração escura, diferindo dos frutos de *M. cauliflora*, os quais são sésseis e grandes (JESUS et al., 2004). Essas duas espécies são muito apreciadas pela população e frequentemente encontradas na região de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, porém com difusão em todo o país (ALEXANDRE et al., 2006; DANNER et al., 2006; LORENZI, 2006; OLIVEIRA, 2008).

Figura 3 - *Myrciaria cauliflora* e *Myrciaria jaboticaba*, respectivamente.



Fonte: Google Imagens (2022).

Quanto ao uso, de acordo com Oliveira et al. (2019), o consumo de jabuticaba é realizado principalmente *in natura*. Ademais, os diversos atributos de qualidade da jabuticaba, sobretudo o sabor apreciável, resulta no uso dessa na elaboração de produtos artesanais de qualidade como geleias, licores, vinagre, sucos e vinhos. O uso da jabuticaba na elaboração de bebidas fermentadas e geleias, por exemplo, é interessante por permitir o melhor aproveitamento do fruto, visto que esse apresenta elevada perecibilidade (CIPRIANO, 2011; SILVEIRA et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2008).

Segundo relatado por Citadin et al. (2010), esse fruto também pode ser utilizado também pela indústria farmacêutica, devido ao seu alto teor de substâncias antioxidantes, tornando o potencial de aproveitamento da jabuticaba bastante amplo. Outro uso da jabuticaba é em projetos ornamentais diversos (DANNER et al., 2008; WU et al., 2013).

### 3.2.3 Composição nutricional

A jabuticaba é um fruto relevante do ponto de vista nutricional devido a presença de carboidratos, cobre, potássio, ferro, manganês e vitamina A em sua composição. Os principais carboidratos presentes no fruto são a frutose a glicose e também apresentam teores consideráveis de minerais, sobretudo fósforo e cálcio, e de compostos fenólicos e outros compostos bioativos como glicosídeos, carotenoides e ácido ascórbico (INADA et al., 2015; MORALES et al., 2016).

A composição nutricional da jabuticaba, segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), apresenta um teor de umidade na sua forma *in natura* de cerca de 83,6%; enquanto a concentração de proteínas totais é de cerca de 0,6 g; lipídios de 0,1 g; 15,3 g de carboidratos; 2,3 g de fibras alimentares; 16,2 mg de vitamina C; 130 mg de potássio; 8 mg de cálcio e 15 mg de fósforo, valores referentes a 100 g do produto *in natura*.

Frente aos teores nutricionais da jabuticaba, Souza (1992) relatou altas concentrações de minerais quando comparada a outras frutas, assim como Lima et al. (2011) descreveu elevada quantidade de ácidos orgânicos, carboidratos, fibras e quantidade significativa de compostos fenólicos tanto na polpa quanto na casca de jabuticabas *in natura*, inferindo o grande potencial desta fruta para a complementação da alimentação humana.

### 3.2.4 Produção e comercialização de jabuticaba no Brasil

A jabuticaba pode ser encontrada em todo território nacional, pois se adapta ao clima tropical até o subtropical úmido, sendo distribuída desde regiões com baixas temperaturas como Rio Grande do Sul, até em regiões mais quentes, como por exemplo o Pará (CEAGESP, 2018). No entanto, a produção comercial concentra-se, sobretudo, na região sudeste brasileira, sendo realizada, principalmente, por pequenos agricultores e em pequena escala (WU et al., 2013).

De forma mais ampla, com maior quantidade de produtores, o cultivo dessa fruta é identificado nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Espírito Santo e Goiás onde está localizado o maior pomar da fruta no país. A fruta também pode ser encontrada em certas regiões do México, Bolívia, Argentina, Paraguai e Uruguai (CEAGESP, 2018).

Segundo dados de 2016, disponibilizados pelo Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2018), referentes ao estado de São Paulo, o qual está classificado como maior produtor nacional, foram comercializadas aproximadamente 2.481



toneladas de jaboticabas nos entrepostos da companhia, sendo estes valores crescentes a cada ano (CITADIN et al., 2010).

De acordo com dados coletados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), juntamente com a Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável (CDRS), órgãos da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA) nos anos de 2014 a 2018 a produção cresceu cerca de 1,6%, apresentando ainda grande potencial de alavancagem a nível nacional (IEA, 2019).

Um aspecto peculiar sobre a produção e comercialização de jaboticaba é que embora muito apreciada e conhecida no território brasileiro em função do sabor e aroma, o fruto é pouco explorado comercial e industrialmente (INADA et al., 2015). Isso ocorre porque, em condições naturais, sem irrigação, a jaboticaba é produzida apenas durante dois meses ao ano e, devido a sua alta perecibilidade, o transporte e armazenamento deste fruto se torna inviável quando realizado sem refrigeração (LIMA et al., 2008; SANTANA et al., 2005).

De acordo com Wu et al. (2013), o baixo valor econômico da jaboticaba ocorre devido à alta perecibilidade, o que, em muitos casos, inviabiliza a sua comercialização em larga escala. Ademais, a casca do fruto é frequentemente descartada, embora apresente teores elevados de compostos fenólicos e de fibra dietética e, atualmente, uma das grandes preocupações da indústria alimentícia é a destinação de seus coprodutos gerados nos processos produtivos, sendo a casca da jaboticaba correspondente a cerca de 50 a 70% do volume total dessa fruta (LIMA et al., 2008; SANTANA et al., 2005).

Diante desse fato, novas técnicas que visam a redução do teor de água da jaboticaba e melhoria na estabilidade de seus componentes são bastante visadas pelos produtores, na busca por reduzir a sazonalidade e aumentar sua durabilidade (KIM et al., 2009). Dentre as técnicas que podem ser empregadas para redução do teor de água e estabilidade de componentes dos frutos de jaboticaba, destaca-se a secagem. Esse processo compreende a redução do teor de água contido em um determinado alimento ou produto e tem sido empregada na preservação da qualidade física, química e fisiológica de produtos que serão submetidos a armazenagem (SANTOS et al., 2019).

Visto isso, juntamente com o alto potencial de compostos bioativos presentes na casca e sementes de jaboticabas, o maior aproveitamento destas frações pode reduzir os impactos ambientais, além de agregar valor nutricional e econômico ao produto final (LIMA et al., 2008; SANTANA et al., 2005). Diante disso, o desenvolvimento de produtos que proporcionem o aproveitamento desses componentes é importante, pois permite a introdução de alimentos

saudáveis na dieta humana e permite o reaproveitamento de resíduos orgânicos (LEITE-LEGATTI et al., 2012; MICHELETTI et al., 2018).

### 3.3 Compostos bioativos na jabuticaba

Nos últimos anos têm sido verificado um crescente aumento na ingestão de frutas na dieta devido a maior consciência quanto à importância dessas para a saúde humana e qualidade de vida. O consumo de frutas tem sido incentivado em virtude do elevado teor de compostos bioativos nesses alimentos, com destaque para vitamina C,  $\beta$ -caroteno, polifenóis e licopenos (AKTER et al., 2011). De acordo com Biesalski et al. (2009, p.1202) “*os compostos bioativos são compostos essenciais e não essenciais (por exemplo, vitaminas ou polifenóis) que ocorrem na natureza, fazem parte da cadeia alimentar e podem ter efeitos comprovados na saúde humana*”.

A jabuticaba é um fruto que possui elevados teores de compostos fenólicos, sobretudo de taninos e antocianinas. Esses compostos estão presentes em grande quantidade nas cascas dos frutos e conferem alta capacidade antioxidante (CAVALCANTI et al., 2011). Vários estudos já demonstraram que este fruto apresenta alta atividade antioxidante devido ao seu conteúdo significativo de antocianinas (REYNERTSON et al., 2006; REYNERTSON et al., 2008). Dentre estes, Terci (2004) relatou uma quantificação entre 310 e 315 mg de antocianinas por 100 g de jabuticaba *in natura*, valor considerado alto quando comparado com outras frutas, como amora, que apresenta cerca de 261 a 292 mg / 100 g; e uva com aproximadamente 227 a 235 mg / 100g. Em estudo com vinhos, Barros et al. (2010) observou que a bebida produzida a partir de jabuticabas apresentou atividade antioxidante superior à bebida obtida de uvas.

As propriedades fitoquímicas antioxidantes presentes na jabuticaba têm despertado interesse nos pesquisadores pela diversidade e quantidade de compostos presentes, principalmente na casca desse fruto, parte a qual muitas vezes é descartada como resíduo, porém com grande concentração de fenóis e polifenóis (MENDES et al., 2021; SILVA et al., 2013).

#### 3.3.1 Compostos Fenólicos

Assim como as frutas cítricas e aquelas que apresentam coloração mais escura como, por exemplo, a ameixa, cereja e a uva, a jabuticaba é um fruto que apresenta uma quantidade significativa de compostos fenólicos, dentre os quais destacam as antocianinas e antocianidinas

(LIMA et al., 2008; PODSEDEK, 2007). Os compostos fenólicos podem ser compreendidos como um grupo de diversas moléculas que apresentam funções e estruturas diversas e que podem ser classificados em compostos hidrossolúveis e insolúveis em água. Os principais compostos fenólicos hidrossolúveis são os flavonoides, ácidos fenólicos, quinonas e fenilpropanoides. Por outro lado, taninos condensados, ácidos hidroxicinâmicos e ligninas são os principais representantes dos compostos fenólicos insolúveis em água (HAMINIUK et al., 2012).

Os compostos fenólicos se caracterizam como substâncias químicas consideradas metabólitos secundários das plantas, essenciais para o crescimento e reprodução. E, dentre os metabólitos secundários sintetizados pelos vegetais, esses são os mais amplamente distribuídos entre as diferentes espécies vegetais. Além disso, essas substâncias são constituintes de um amplo grupo com diferentes atividades químicas, sendo sua concentração variante nos diversos tecidos e células vegetais (KIM et al., 2003; LATTANZIO, 2013; MARTÍNEZ-VALVERDE et al., 2000).

Esses compostos apresentam participação essencial na qualidade sensorial dos frutos e seus produtos, como o aroma, a coloração e o sabor, alguns destes ainda relatados com alta capacidade antioxidante, anticarcinogênica, antimicrobiana, dentre diversas outras (MARTÍNEZ-VALVERDE et al., 2000; KIM et al., 2003). Nos frutos da jabuticabeira, a maior concentração de compostos fenólicos ocorre no epicarpo, região vegetal rica em antocianina. Na casca e semente dos frutos também há alta concentração de dois polifenóis, flavonoides e taninos. A interação entre antocianinas, flavonoides e taninos tem sido relacionada a atribuição do sabor e coloração característica em licores e vinhos obtidos a partir dos frutos de jabuticaba (LIMA et al., 2008; PODSEDEK, 2007).

A composição química dos compostos fenólicos é estruturada por um anel aromático contendo um ou mais grupos hidróxidos, incluindo derivados funcionais cuja síntese não é feita pela espécie humana, variando desde moléculas simples, como ácidos fenólicos, a compostos extremamente polimerizados, como por exemplos os taninos (MARTÍNEZ-VALVERDE et al., 2000). Existem cerca de cinco mil tipos de fenóis, no entanto os principais compostos fenólicos encontrados frequentemente em frutos e vegetais podem ser classificados em diversas classes, dentre elas os ácidos fenólicos derivados de ácido hidroxibenzoicos, flavonoides, estilbenos e taninos (ALARA et al., 2021; BUTTERFIELD et al., 2002; VOLP et al., 2008).

Um importante grupo dentro dos compostos fenólicos são as antocianinas, classificadas como pigmentos não tóxicos hidrossolúveis responsáveis pela coloração azul brilhante, violeta,

alaranjada, rosa e avermelhada em flores, frutos, caules e raízes (CASTAÑEDA OVANDO et al., 2009; OREN-SHAMIR, 2009). São também nomeadas como agliconas e formadas por dois anéis aromáticos associados a um anel heterocíclico contendo uma molécula de oxigênio. Um dos anéis aromáticos é derivado da fenilalanina e o segundo anel da ação da enzima chalcona sintase. Suas propriedades benéficas à saúde estão relacionadas à sua estrutura química, devido ao fato de possuírem excesso de elétrons, o que torna essas moléculas extremamente reativas (CARLE, 2004; DU et al., 2008; GALVANO et al., 2004; KONG et al., 2003; STINTZING).

Um aspecto importante é que, nos organismos, a geração de radicais livres a partir de processos oxidativos, por exemplo, resulta no ataque das células, o que culmina em doenças graves. Algumas doenças associadas ao ataque celular por radicais livres em humanos são hipertensão, câncer, diabetes mellitus, desordem neurológica, aterosclerose e doença cardiovascular, dentre outras. Nesse contexto, destacam-se os compostos fenólicos, visto que dietas alimentares ricas nesses compostos contribuem para o bem-estar e estão associadas às atividades antioxidantes devido à quebra da reação em cadeia no processo de oxidação, o que ocorre em função da doação de um elétron e/ou um átomo de hidrogênio aos radicais livres. Por esse motivo, a atividade antioxidante possui forte dependência da posição e número dos grupos hidroxila nas moléculas bioativas (CALEJA et al., 2017). De acordo com Martínez-Valverde et al. (2000), a atividade antioxidante destes compostos ocorre devido a interrupções de radicais livres, através de interações, preferencialmente com o radical peroxil, por este ser predominante na etapa da autooxidação e possuir menor energia quando comparado a outros radicais, favorecendo a remoção do hidrogênio.

Esse mecanismo tem despertado interesse do ponto de vista tanto tecnológico quanto nutricional, sendo crescentes as pesquisas com produtos que apresentem altas concentrações destes compostos (MARTÍNEZ-VALVERDE et al., 2000). Em estudo sobre a composição nutricional da jabuticaba, Reynertson et al., (2008) e Rufino et al., (2010) demonstraram que o teor de compostos fenólicos presente no fruto foi de 31,6 mg / g para a fruta desidratada, e para o extrato da fruta fresca foi de  $440 \pm 9,9$  mg / 100g, sendo considerados teores altos quando comparados a diversas outras frutas. Ademais, em pesquisa desenvolvida por Geòcze (2007), foi possível verificar que licores fabricados a partir de frutos de jabuticaba apresentam compostos fenólicos e atividade antioxidante semelhante ao observado para vinhos obtidos de uvas.

Diante do potencial efeito benéfico dos compostos fenólicos, determinar suas concentrações totais nos alimentos é considerado prioridade, visando uso destas propriedades

nutricional, medicinal e tecnologicamente. No entanto, vale ressaltar que pesquisas nesse seguimento são necessárias, na busca por maior levantamento de dados visto que estas concentrações podem sofrer alteração em função do tempo, clima, cultura, grau de maturação, armazenamento e processamento (MOURE et al., 2001).

### 3.3.1.1 Flavonoides

Compostos bioativos de grande importância nos produtos naturais, os flavonoides representam uma classe de metabólitos oriundos do metabolismo secundário vegetal que apresentam uma estrutura polifenólica (BURAK; IMEN, 1999). Os flavonoides são substâncias químicas descobertas em 1930 em frutos de laranja. Uma vez que essas substâncias foram, inicialmente, associadas à família das vitaminas, os flavonoides receberam o nome de vitamina P, sendo que só na posterioridade confirmou-se tratar de um novo grupo de substâncias (SIMÕES et al., 2000).

Os compostos flavonoides são muito abundantes em angiospermas (SIMÕES et al., 2000) e podem ser encontrados em diversos produtos, dentre eles vegetais, frutas, legumes, mel e outros produtos empregados na alimentação humana (LOPES et al., 2010). Nos vegetais, os flavonoides podem ser encontrados em diversas estruturas, tais como flores, sementes, frutos, casca de árvore e caule. Esses compostos também estão presentes nos produtos obtidos a partir da preparação dessas estruturas, tais como vinhos e chás (NIJVELDT et al., 2001).

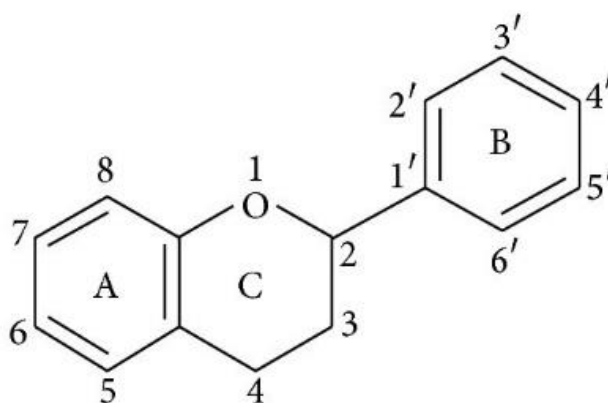
De acordo com Formica e Regelson (1995), um fato que impulsionou o desenvolvimento de pesquisas sobre os flavonoides foi a descoberta do chamado “*paradoxo francês*”. Esse termo faz referência à constatação da baixa taxa de mortalidade devido a problemas cardiovasculares em populações mediterrâneas relacionada ao consumo de vinho tinto e a ingestão de grandes quantidades de gordura saturada. Pelo menos em partes, sabe-se que esse efeito pode estar associado a presença dos flavonoides no vinho tinto (FORMICA; REGELSON, 1995).

Por essas e outras razões, essas substâncias de estrutura fenólica diversa são muito conhecidas devido aos efeitos benéficos à saúde humana (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016). Uma curiosidade sobre os flavonoides é que a palavra “flavonoide” deriva do termo “*flavus*”, que significa amarelo no latim. No entanto, os grupos flavonas e flavonóis são incolores (LOPES et al., 2010).

Há uma grande diversidade estrutural dentro desse grupo (SIMÕES et al., 2000). De acordo com Nijveldt et al. (2001), baseado na estrutura molecular, os flavonoides podem ser divididos em diversas classes, sendo que os quatro grupos principais são: flavonas, flavononas, catequinas e antocianinas.

Os flavonoides apresentam, na sua estrutura química, um núcleo flavilium, o que é composto por três anéis fenólicos (Figura 4). No primeiro anel, o benzeno é condensado com o carbono que ocupa a sexta posição do terceiro anel. Esse terceiro anel possui, na sua posição 2, um grupo fenila. Quando o terceiro anel é um pirano heterocíclico, esse pode ser referido como núcleo flavana, e nesse ocorre a formação das estruturas básicas das antocianidinas e leucoantocianinas. Além disso, é nesse anel, também referido como núcleo 4-oxo-flavonoide, que são formadas as flavonas, flavanonas, isoflavonas, flavonóis, auronas e chalconas (AHERNE; O'BRIEN, 2002).

Figura 4 - Estrutura básica de um flavonoide.



Fonte: Kumar; Pandey (2013).

Dependendo do grau de oxidação e de insaturação do anel C e do carbono presente no anel C, que é sítio de ligação do anel B, os flavonoides são divididos em subgrupos variados. As isoflavonas são um subgrupo de flavonoides cujo anel B se liga ao anel C na posição 3. Quando o anel B está ligado ao anel C na posição C esse recebe o nome de neoflavonoides. Por outro lado, quando o anel B se liga na posição 2 do anel C, esse subgrupo pode ser dividido em vários outros subgrupos, sendo que essa divisão é baseada em características estruturais observadas no anel C. Logo, esses subgrupos são: flavanonas, flavonoides ou catequinas, flavonas, flavanonas e chalconas (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016).

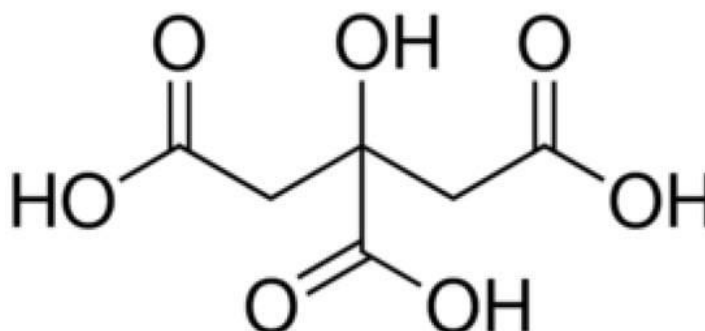
Em estudo conduzido por Rufino et al. (2010) constatou-se que a jabuticaba *in natura*, considerando a mistura de polpa e casca, apresentava 147,0 mg/100 g de flavonoides. Além disso, Almeida et al. (2020), ao analisarem o teor desse composto na casca de jabuticaba *in natura*, verificaram que esse correspondeu a 60,31 mg/100 g.

Um aspecto interessante sobre o teor de flavonoides na jabuticaba é que esse é superior na casca comparativamente a polpa. Essa informação tem impulsionado o desenvolvimento de pesquisas sobre o aproveitamento da casca desse fruto para maior disponibilidade de flavonoides em produtos alimentícios (ALMEIDA et al., 2020).

### 3.3.1.2 Ácido Cítrico

O ácido cítrico, também denominado de citrato de hidrogênio, está presente na maioria das frutas, principalmente limão e laranja, sendo um composto orgânico tricarbônico fraco (HANSULD; BRIANT, 1954). Esse ácido orgânico apresenta fórmula  $C_6H_8O_7$ , sendo considerado um ácido ligeiramente mais forte comparado aos ácidos carboxílicos típicos, o que ocorre devido a capacidade de estabilização do ânion por ligações de hidrogênio no interior da molécula de outros grupos próticos (APELBLAT, 2014). A estrutura química do ácido cítrico pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Estrutura química do ácido cítrico.



Fonte: Apelblat (2014).

Em temperatura ambiente, o ácido cítrico se encontra na forma sólida, é inodoro, possui coloração branca cristalina, e apresenta sabor levemente ácido. O ponto de fusão é de 156 °C, sendo que a molécula começa a decompor em temperatura igual ou superior a 175 °C devido a perda de água e de dióxido de carbono. Além dessa forma, esse componente também pode apresentar duas outras formas, sendo elas monoidratada e anidra. A forma monoidratada é

cristalizada em água fria enquanto a forma anidra é cristalizada em água quente. As massas molares das formas monoidratada e anidra são 210,14 g/mol e 192,123 g/mol, respectivamente. Quanto à densidade, esse composto possui densidade de 1,665 g/cm<sup>3</sup> na forma anidra e 1,542 g/cm<sup>3</sup> na forma monoidratada (APELBLAT, 2014).

Quanto à atividade, destaca-se que esse composto, além de relatado com potencial função antioxidante, é considerado um acidulante versátil e apresenta baixa toxicidade e alta solubilidade sendo amplamente utilizado na indústria alimentícia (HANSULD; BRIANT, 1954). O ácido cítrico tem sido muito usado na indústria de alimentos como agente aromatizante. O emprego como agente quelante e acidificante, embora menos representativo, também tem sido explorado nas indústrias farmacêutica e química (KARAFFA; KUBICEK, 2019).

Ademais, a versatilidade desse composto na indústria de alimentos e bebidas pode ser associada a suas propriedades, como por exemplo, o auxílio à absorção de carboidratos, potencialização de conservantes, prolongamento da estabilidade da vitamina C, potencialidade como agente tamponante no meio, além de conferir aroma e sabor. Atualmente sua maior utilização é observada em sucos, balas, vinhos, refrigerantes, produtos de origem láctea, cremes, gorduras, dentre diversos outros (CARGILL, 2015).

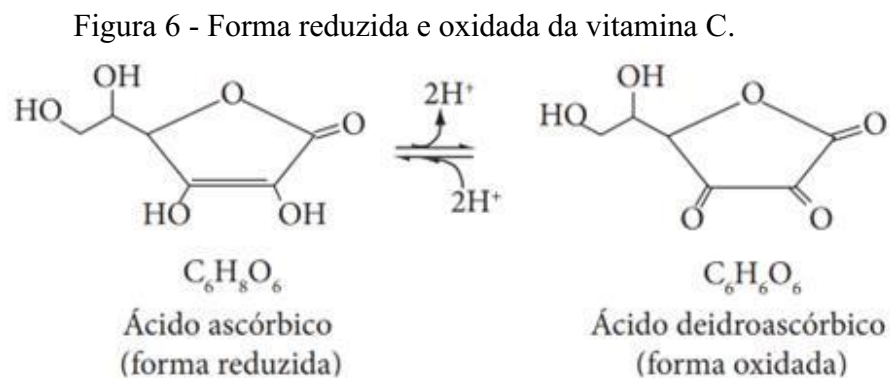
Sua fabricação é feita através da fermentação de um carboidrato a partir de sacarose ou dextrose, podendo ser produzido na forma granular ou líquida, com utilização do microrganismo *Aspergillus niger* (SILVA, 2014). Outra propriedade associada ao ácido cítrico faz referência a sua função quelante, a qual, segundo Hansuld e Briant (1954), atua juntamente com ácido ascórbico formando quelatos de baixo peso molecular com moléculas de ferro, o que aumenta, por conseguinte, sua absorção pelo organismo, além de atuar sobre pró-oxidantes que causam rancidez e inativar enzimas que provocam reação de escurecimento em produtos perecíveis.

### 3.3.1.3 Ácido Ascórbico

O termo vitamina C é popularmente usado para se referir ao ácido L-ascórbico, sendo que a descoberta desse composto bioativo está relacionada a observação dessa vitamina como fator necessário ao tratamento do escorbuto. Nesse período, os termos “vitamina A” e “vitamina B” estavam sendo bastante utilizados, o que resultou no emprego da terminologia vitamina C, a qual é usada para se referir tanto ao ácido L-ascórbico propriamente dito quanto ao ácido L-



desidroascórbico (Figura 6), forma oxidativa que pode ser convertida em L-ascórbico no metabolismo humano (DOSEDĚL et al., 2021).



Fonte: Toralles et al. (2008).

O ácido ascórbico é um composto presente em uma gama de frutos, apresentando como algumas de suas propriedades a capacidade antioxidante que atua na preservação de alimentos, evitando seu escurecimento e reações degradativas como a oxidação. Essa característica é explicada pelo fato de que as moléculas desse ácido estão sujeitas a sofrer oxidação antes que as demais moléculas do alimento, impedindo e protegendo, dessa forma, que as mesmas se oxidem rapidamente (PIETTA, 2000).

É considerado uma vitamina hidrossolúvel, com fácil absorção pelo organismo, e que se caracteriza pelo alto teor no conteúdo corporal humano comparado às outras vitaminas. Sugere-se que o conteúdo de vitamina C no corpo seja de cerca de 1,5 gramas, o que corresponde a 20 mg/kg, em média. A recomendação de ingestão média diária é de, aproximadamente, 45 a 75 mg para manter as funções orgânicas vitais do corpo humano. No entanto, as recomendações podem variar em diferentes países, sendo comum valores entre 40 e 120 mg diário. Além disso, durante a gravidez, prevê-se uma recomendação adicional de 5 a 10 mg (BOBBIO et al., 1995; DOSEDĚL et al., 2021; GUILLAND et al., 1995).

Embora exista variação na quantidade recomendada, há um consenso de que a ingestão de vitamina C tem grande importância fisiológica, visto que a mesma participa de diversos mecanismos da formação de tecido conjuntivo, produção hormonal, síntese de anticorpos pelo sistema imunológico, biossíntese de aminoácidos, além da prevenção de escorbuto, atuando com ampla disseminação em compartimentos intra e extracelulares. O ácido ascórbico também atua na síntese de adrenalina e colágeno e na formação de alguns neurotransmissores e ácidos biliares (FANG et al., 2017; SILVA, 2014).

Esse composto possui também grande importância na eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) do organismo. As ROS são responsáveis por danos celulares, o que pode resultar em diversas anormalidades fisiológicas, tais como inflamações, envelhecimento, cânceres e doenças cardiovasculares. Estudos mostraram ainda que a vitamina C, além dos diversos benefícios já mencionados, está associada com a regulação do colesterol, redução das concentrações de chumbo no sangue, aumento da fertilidade, assim como seu efeito antioxidante que apresenta ações anticarcinogênicas no organismo pelo combate a radicais livres. Por esse motivo, quando não ocorre a ingestão das quantidades necessárias pelo corpo para a realização de tais funções, ocorre a mobilização das reservas de ácido ascórbico, que, após contínua retirada e esgotamento destas reservas iniciam-se os sintomas do escorbuto (DAMASCENO et al., 2019; FANG et al., 2017; SILVA, 2014).

A presença de vitamina C em frutos e seus coprodutos industrializados é altamente dependente de uma variedade de fatores, como por exemplo, o grau de maturação do fruto, condições de plantio, condições de manuseio durante e após a colheita, além dos próprios métodos de industrialização e estocagem empregados na atualidade. Devido a essa relativa sensibilidade, a escolha correta do método tecnológico a ser empregado é de suma importância na conservação adequada dos teores de ácido ascórbico (LEE et al., 2000).

De acordo com Halliwell (2001), a jabuticaba é um fruto que apresenta teores consideráveis de vitamina C, sendo que o consumo desse fruto pode contribuir para suprimento da demanda dessa vitamina pelos seres humanos. Conforme observado para outros frutos, o teor de ácido ascórbico no fruto de jabuticaba aumenta durante o início da maturação, sendo que a concentração de ácido ascórbico varia entre 450 e 1178.91 mg de ácido ascórbico a cada 100 gramas de frutos durante os diferentes estágios de maturação do fruto *in natura*, como observado no estudo conduzido por Garcia et al. (2019). No entanto, estudos aprofundados sobre o teor de compostos bioativos como a vitamina C em relação as frações da fruta são incipientes, uma vez que a maioria das pesquisas e publicações resultantes apresentam abrangência local (LIMA et al., 2008).

### **3.4 Secagem de alimentos**

No geral, as frutas são alimentos altamente perecíveis, visto que após a maturação, a decomposição pode ocorrer rapidamente. Essa característica resulta em uma vida de prateleira curta, sendo que tecnologias que permitam a conservação desses alimentos são fundamentais.

Dentre essas, destaca-se a secagem, uma das técnicas mais antigas para conservar alimentos e que possui grande aplicabilidade na atualidade pelas indústrias químicas, agrícolas, biotecnológicas, farmacêuticas, assim como diversas outras (BENMEZIANE, 2019; OMOLOLA et al., 2015; SILVA, 2019).

A secagem pode ser compreendida como uma técnica de remoção total ou parcial da fração líquida associada a um produto sólido que permite prolongar a viabilidade de um determinado produto devido a redução da atividade da água (BENMEZIANE, 2019; OMOLOLA et al., 2015). Destaca-se que as diversas técnicas empregadas para a conservação de produtos agrícolas e alimentos baseiam-se na evaporação da água através da aplicação de calor, de forma direta ou indireta, influenciando, dessa forma, os teores de atividade de água ( $a_w$ ). A maior conservação do produto seco ocorre pelo fato de que o conteúdo de água de um alimento é o principal fator promotor da deterioração por microrganismos e alterações por reações químicas e enzimáticas. Portanto, ao se remover parcialmente o conteúdo de água de um meio, por consequência se reduz também a possibilidade de proliferação bacteriana no mesmo (CELESTINO, 2010; DINCER; DOST, 1995).

Por esse motivo, a secagem de frutas possui diversas vantagens, dentre as quais destacam a inibição do crescimento e desenvolvimento de microrganismos, a viabilidade prolongada do alimento e a menor deterioração devido a atividade reduzida da água. Ademais, essa técnica permite reduzir custos envolvidos no transporte e armazenamento dos frutos, visto que há uma redução na massa e volume dos produtos após a secagem (CACCAVALE et al., 2016; ZIELINSKA et al., 2013).

Existem diversos métodos de secagem disponíveis, sendo que dentre os métodos convencionais destacam-se a secagem com ar quente, secagem a vácuo e liofilização. Esses métodos apresentam vantagens e desvantagens específicas e devido ao elevado teor de água nos frutos, podem ocasionar secagem excessiva e desigual dessas estruturas. Alguns desses métodos também podem interferir no sabor do produto e ocasionar a perda de nutrientes, bem como de vitamina C e clorofila, por exemplo (CHEN et al., 2020).

Algumas técnicas modernas de secagem de alimentos são a secagem solar, a secagem por micro-ondas, a secagem por infravermelho, dentre outras (HASAN et al., 2019; ZHANG et al., 2017). E, embora tenha sido verificado uma grande diversidade de métodos para secagem de alimentos em escala industrial, os métodos mais empregados para secagem de suco de frutos e posterior transformação em pó são a secagem por liofilização, secagem em *spray dryer* e a secagem em esteira de espuma (SHISHIR; CHEN, 2017).

Uma vez que o processo de secagem pode ocasionar modificações no formato, textura, sabor e composição nutricional dos alimentos e que essas alterações podem ser desvantajosas, a depender das exigências do mercado consumidor, a escolha adequada do método de secagem é indispensável na indústria de alimentos. A escolha de um método se baseia, dentre outros fatores, na eficiência, no custo de processamento e na manutenção das características desejadas dos alimentos. Além disso, métodos que sejam menos danosos ao meio ambiente tendem a ser priorizados (BENMEZIANE, 2019; BRUIJN; BÓRQUEZ, 2014).

Além disso, outros aspectos do processo de secagem podem interferir nas propriedades do produto seco e na taxa de secagem como, por exemplo, a umidade e temperatura do ar, a direção e a velocidade do fluxo de ar. Além disso, a composição do fruto e a complexidade da estrutura de secagem, bem como a variabilidade biológica do fruto, tornam o processo de secagem de frutos desafiador. Por esse motivo, a adoção de condições operacionais otimizadas e a escolha do método de secagem adequado são fundamentais (CASTRO et al., 2018). Ademais, para que a máxima eficácia deste processo seja atingida, o conhecimento a respeito de seus princípios básicos é de suma importância, associando assim as propriedades físico-químicas do produto ao qual se deseja trabalhar com a cinética de secagem mais adequada diante as diferentes metodologias propostas na atualidade (SILVA, 2019).

Quando se considera a jabuticaba, a secagem dos frutos e resíduos visando a obtenção do pó é considerada promissora e pode resultar no preparo e enriquecimento de bebidas e alimentos diversos. Na obtenção do pó, a secagem deve ser realizada levando em consideração o binômio temperatura e tempo, pois ajustes inadequados nessas duas variáveis podem resultar na degradação de compostos fenólicos e causar alterações significativas no teor de compostos bioativos e na qualidade final (GASTALDI et al., 2018; PÁDUA et al., 2017).

O processo de secagem da casca de jabuticaba visando a obtenção de farinha da casca foi analisado a partir das técnicas de liofilização e secagem convectiva em estudo desenvolvido por Almeida et al. (2020). Nesse estudo, foi possível constatar que o método de liofilização apresentou resultados superiores aos obtidos por secagem convectiva quanto a preservação dos compostos bioativos e das propriedades físicas e químicas da casca do fruto (ALMEIDA et al., 2020). Além disso, a secagem da polpa e casca de jabuticaba sabará (*M. cauliflora*) pela técnica de secagem em camada de espuma resultou na retenção dos componentes nutricionais presentes no fruto, o que, segundo os autores do estudo, pode contribuir para o uso desse produto a partir do pó (FERREIRA, 2017).

O emprego da técnica de secagem em cilindro rotativo foi analisado por Nunes et al. (2020) para obtenção de flocos de jabuticaba a partir da polpa. Os resultados indicaram que essa técnica proporcionou boa retenção de compostos fenólicos, antocianinas e preservou a atividade antioxidante da polpa. Contudo, essa técnica alterou o parâmetro cor, sendo que após a secagem da polpa verificou-se escurecimento e aumento dos valores de parâmetros relacionados à concentração de pigmentos.

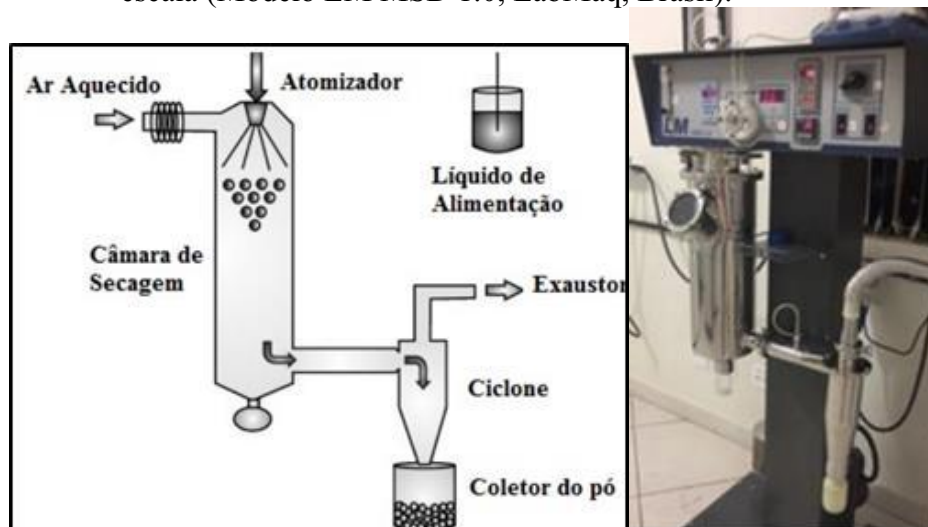
### **3.6 Metodologias de secagem de alimentos**

#### **3.6.1 Spray Dryer**

A secagem em *spray dryer*, é uma das técnicas mais amplamente utilizadas na indústria de alimentos (AVELLONE et al., 2018; FERNANDES et al., 2013). Também conhecida por secagem por nebulização, ou secagem por pulverização, esse método de secagem foi desenvolvido, inicialmente, no século XVIII. A primeira patente da técnica destinou-se a secagem de ovos e a aplicação dessa técnica de secagem em escala industrial ocorreu em 1920 em indústrias destinadas a produção de detergentes e leite em pó. Na atualidade, a secagem em *spray dryer* tem sido usada em diversos tipos de produtos na indústria alimentícia, tais como bebidas, extratos de vegetais e frutas, ovos, proteínas vegetais, iogurtes, extratos de chá e diversos outros produtos na forma de pó (KESHANI et al., 2015; SOUZA et al., 2013).

A técnica de secagem em *spray dryer* (Figura 7) consiste na atomização de um líquido gerando gotículas e deixando as partículas em suspensão, e, dessa forma, elas serão secas ao entrar em contato com um meio quente, usualmente o ar. Assim, as diferenças de pressão parcial de vapor da água e temperatura entre o produto e o meio levam a transferência de energia na forma de calor do ar para o produto e, conseqüentemente, passagem de água do produto para o meio (ARAÚJO et al., 2020).

Figura 7 - Mecanismo de secagem em spray dryer e equipamento de utilização em baixa escala (Modelo LM MSD 1.0, LabMq, Brasil).



Fonte: Adaptado de Braga (2019).

De acordo com Perrone et al. (2013), em função do sentido do fluxo de troca de energia na forma de calor, os equipamentos destinados a secagem por atomização podem ser classificados em fluxo em contracorrente, correntes paralelas e fluxo combinado. E, de um modo geral, a secagem em *spray dryer* compreende três etapas principais, sendo elas a atomização, o contato das gotas com ar quente e evaporação da umidade e, por fim, a separação entre produto seco e ar de saída num ciclone (MUKAFFAR et al., 2018).

A fase de atomização é considerada a etapa mais importante no processo e consiste na conversão do líquido/fluido de alimentação em partículas ou gotículas minúsculas. Uma vez que ocorre redução no tamanho das partículas e dispersão dessas no gás de secagem, o processo resulta no aumento exponencial da superfície das partículas, o que culmina na rápida remoção da umidade sem perturbar a integridade do material (MUKAFFAR et al., 2018).

O processo de secagem das gotículas é resultante da transferência de massa e calor, de modo simultâneo, sendo que o calor é transferido por convecção e transformado em calor latente durante a evaporação da umidade presente na partícula. Por fim, ocorre a separação entre produto seco e ar de saída, a qual é realizada, geralmente, por um ciclone localizado fora do secador e que atua na minimização das perdas do produto para atmosfera (MUKAFFAR et al., 2018; MURUGESAN; ORSAT, 2012).

Dessa maneira, a secagem por *spray dryer* baseia-se na conversão de líquidos diversos em pós e aglomerados de alimentos (KESHANI et al., 2015) e o grande interesse no uso dessa técnica pela indústria decorre da qualidade do produto final obtido e da viabilidade econômica

do método quando comparado à outras técnicas disponíveis. A secagem por pulverização em escala industrial mostrou-se 4 a 5 vezes mais econômica comparativamente a secagem por liofilização, sendo que essa economia decorre do menor custo operacional, visto que essa técnica demanda menor tempo e quantidades menores de energia (FAZAELI et al., 2012; SHISHIR; CHEN, 2017).

Além disso, segundo Fernandes et al. (2013), esse método é conhecido pelo curto período de contato térmico e alta taxa de evaporação, resultando em produtos estáveis com alta qualidade e baixo conteúdo de umidade. O contato imediato das gotículas de água com o ar quente promove um tempo de secagem curto, sendo esse fato associado à conservação de baixas temperaturas do produto permite a secagem de alimentos sensíveis ao calor e a pressão atmosférica (NINDO et al., 2007). Um exemplo da eficiência desse método foi relatado por Silva et al. (2012) que verificaram conservação de 77 a 86% do teor de antocianinas totais após secagem em *spray dryer* na jabuticaba, apresentando conservação do ácido ascórbico inversamente proporcional a elevação da temperatura utilizada no processo.

Devido a economia e a eficiência do método, a secagem em *spray dryer* é frequentemente empregada em operações unitárias, visando transformar fluidos, como soluções, pastas, emulsões, géis e suspensões coloidais em pós secos (NINDO et al., 2007). E, quando se adota a secagem por atomização, dois tipos de produto podem ser obtidos, sendo eles o desidratado e o microencapsulado. O produto microencapsulado é aquele cujo princípio ativo apresenta-se aprisionado em uma matriz polimérica, na forma de microcápsulas, que promovem a sua proteção frente condições adversas. O produto desidratado, por sua vez, consiste em um material na forma de pó com granulometria microscópica e valores muito baixos de umidade. De um modo geral, o pó obtido por esse método de secagem apresenta formato esférico e regular (MADEIRA, 2009; TURCHIULI et al., 2011).

#### *3.6.1.1 Fatores que afetam o processo de secagem em spray dryer*

A obtenção de produtos secos em *spray dryer* com as características desejadas depende de diversos fatores, dentre os quais destacam-se a vazão e temperatura de alimentação, a velocidade do ar de secagem e a umidade relativa. A viscosidade da emulsão é diretamente influenciada pela temperatura de alimentação durante a secagem, o que influencia, indiretamente, a taxa de secagem. Temperaturas de alimentação mais altas resultam em redução

da viscosidade da alimentação e temperaturas muito elevadas podem resultar na decomposição de substâncias que compõem a amostra (GHARSALLAOUI et al., 2007).

A velocidade de alimentação, por sua vez, depende de ajuste correto para que a evaporação do líquido contido na amostra ocorra antes que essas entrem em contato com as paredes presentes na câmara de secagem. A temperatura e umidade no processo de secagem são variáveis que afetam a morfologia das partículas nos diferentes locais da câmara de secagem. Temperaturas mais baixas, por exemplo, podem resultar em partículas de tamanho inferior e com crosta irregular, fina e compacta. Ademais, o ajuste adequado da vazão de alimentação é essencial para obtenção do grau de secagem desejado e deve ser realizado antes do contato das partículas com a superfície da câmara de secagem (GHARSALLAOUI et al., 2007; OLIVEIRA; PETROVICK, 2009).

Em estudo desenvolvido por Fazaeli e colaboradores (2012) verificou-se as condições de secagem em *spray dryer* afetam as propriedades físicas do pó obtido a partir do suco de amora preta. Os autores constataram que temperaturas de entrada de ar maiores resultam em maior solubilidade e rendimento e reduzem a umidade, densidade e atividade de água na amostra. De modo semelhante, incrementos na taxa de fluxo de ar possuem efeito positivo sobre densidade e rendimento e negativo sobre a umidade, solubilidade e atividade de água.

Lancha et al. (2012) estudaram a secagem da polpa de jabuticaba e de pitanga com uso do *spray dryer* e as propriedades físico-químicas dos pós obtidos ao se utilizar as temperaturas de ar de entrada de 140 e 180 °C e as concentrações de maltodextrina de 5 e 10%. Os autores constataram que a temperatura de 180 °C e a concentração de 10% de maltodextrina permitem obter pós com menor higroscopicidade e umidade. No entanto, nessa condição de secagem, há maior perda na cor do produto seco. Além disso, temperatura mais alta de secagem resulta em redução no teor de antocianinas e compostos fenólicos retidos no pó de jabuticaba, mas, apesar disso, esse pó apresentou teores altos de antocianinas, vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos.

### 3.6.1.2 Vantagens e limitações da secagem por atomização

As vantagens relacionadas à secagem por atomização são inúmeras, dentre elas pode-se citar a redução da proliferação microbiológica, consequência da redução da atividade de água, o que por sua vez, impede o crescimento de grande número de microrganismos; diminuição dos custos de transporte pela redução do volume dos compostos secos; menor suscetibilidade do



material a fatores ambientais como umidade, oxigênio e luz; maior valor agregado na comercialização, bem como ampla disponibilidade durante todo o ano, mesmo em alimentos sazonais (AVELLONE et al., 2018).

A secagem em *spray dryer* permite definir o teor de umidade, o tamanho específico e a uniformidade das partículas nos pós gerados através da manipulação das variáveis envolvidas no processo. Além disso, uma vez que o processo de secagem é uma operação contínua com uso dessa técnica, torna-se possível alterar as condições da operação sem que seja necessária a interrupção da secagem. Outros benefícios no uso dessa técnica incluem a facilidade operacional, o rápido tempo de resposta, a possibilidade de aplicação tanto em materiais sensíveis quanto resistentes ao calor, a elevada área específica das partículas resultantes, o que resulta em rápida dissolução, dentre outros (KESHANI et al., 2015; OLIVEIRA; PETROVICK, 2009).

No entanto, apesar das diversas vantagens associadas ao uso dessa técnica, algumas limitações têm sido observadas na secagem por pulverização. Ainda que o tempo de contato de secagem seja considerado curto ao utilizar essa abordagem, a secagem por *spray dryer* demanda temperaturas elevadas, as quais variam entre 150 e 200 °C, o que pode danificar compostos sensíveis presentes em sucos de frutas e vegetais. Alguns compostos sensíveis cujo teor pode ser influenciado pela secagem por pulverização são antocianinas, licopeno, vitamina C e  $\beta$ -caroteno, sendo que comprometimento do sabor e cor do produto pode ser observado (PHISUT, 2012).

Grande parte dos estudos publicados sobre a aplicação de *spray dryer* em produtos obtidos a partir de frutos objetivam otimizar as condições do processo de secagem, o que decorre, em grande parte a dificuldade de transição vítrea do pó. Essa dificuldade está relacionada à presença de ácidos orgânicos e de açúcares de baixo peso molecular em frutos. No geral, a principal estratégia empregada para minimizar esse problema é o uso de agentes carreadores ou encapsulantes, dentre os quais destacam-se a goma arábica e maltodextrina (MONTEIRO et al., 2020).

Outra limitação relacionada ao uso dessa técnica é a aderência da amostra antes que o processo se complete na parede da câmara de secagem, o que resulta na formação de depósitos e tem sido considerada uma das principais causas de perda de produto no processo (ENGEL et al., 2017). Ademais, o método de secagem por pulverização é considerado de baixa eficiência térmica, visto que um grande volume de ar quente circula na câmara de secagem sem que ocorra o contato com as gotas (SHISHIR; CHEN, 2017).

Outro aspecto relevante é que, no processo de secagem em *spray dryer* a degradação e oxidação dos compostos voláteis presentes na amostra não devem ser superiores aos níveis aceitáveis (KESHANI et al., 2015). Portanto, realizar processos de secagem que permitam alta viabilidade com um alta retenção dos compostos bioativos pode ser desafiador (MONTEIRO et al., 2020).

Borges et al. (2017) conduziram um estudo científico visando a obtenção de extrato seco com propriedades otimizadas obtido a partir de cascas e sementes do fruto de jabuticaba *Myrciaria cauliflora*. O processo de secagem em *spray dryer* foi realizado adotando as variáveis-independentes vazão de ar do bico de pulverização, vazão de alimentação e temperatura do ar de entrada e os autores observaram que as condições ótimas para que extratos secos com propriedades otimizadas fossem obtidos foram vazão de ar no bico de pulverização igual a 50 L/min, vazão de alimentação de 3 mL/min e 120 °C de temperatura do ar. Nessas condições, os extratos secos obtidos apresentaram valores mais adequados para teor de fenólicos totais, ácido elágico, atividade antioxidante e de água.

O extrato de jabuticaba proveniente da extração com dióxido de carbono supercrítico foi microencapsulado em *spray dryer* por Bohn et al. (2015). Os resultados do estudo indicaram que o uso dessa técnica é eficiente, visto que não resultou em alterações significativas no teor de compostos bioativos (antocianinas monoméricas, compostos fenólicos totais) e no potencial antioxidante no produto microencapsulado comparativamente ao extrato bruto.

No entanto, destaca-se que a maior compreensão acerca da secagem de frutos e resíduos de jabuticaba em *spray dryer* depende da maior exploração científica dessa técnica aplicada a esse fruto, bem como de outros frutos tropicais exóticos e de importância regional. Além da jabuticaba, outros frutos como açaí, cajá, buriti, pitanga e umbu, têm sido pouco estudados quanto à secagem por atomização e demais técnicas e as informações sobre o impacto da secagem sobre as propriedades terapêuticas e nutricionais são limitadas (FERNANDES et al., 2011).

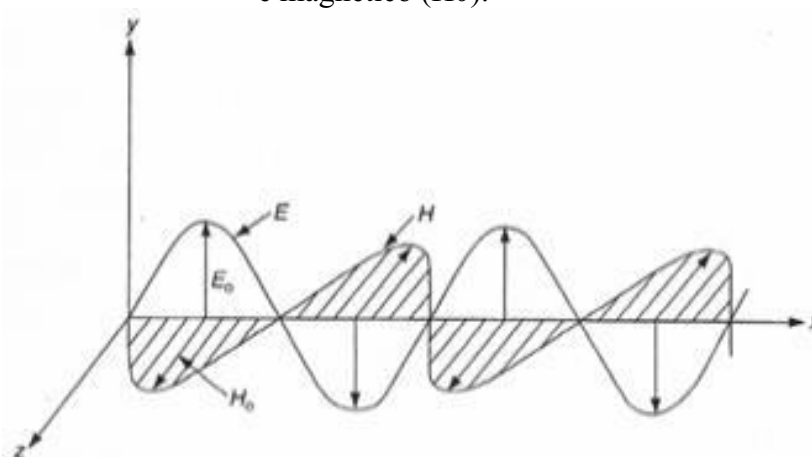
### 3.6.2 Micro-ondas

Embora seja considerada uma tecnologia recente, a exploração da técnica de aquecimento por micro-ondas resultou na invenção do primeiro micro-ondas doméstico logo após a Segunda Guerra Mundial (MUJUMDAR, 2007). A secagem por micro-ondas é uma técnica de processamento térmico que tem sido relatada como eficiente nas etapas de

processamento de produtos agrícolas em pós-colheita. Esta eficiência resultou no interesse da indústria de secagem por essa abordagem (MUJUMDAR, 2007; RAGHAVAN et al., 2010; PU et al., 2016). Além disso, a secagem por micro-ondas tem sido considerada uma técnica interessante devido à rápida evaporação da água presente nos alimentos, o que culmina em menor tempo e demanda de energia durante o processo de remoção da umidade (KIPCAK, 2016).

O desenvolvimento dessa tecnologia foi fundamentado nos conhecimentos fundamentais de eletromagnetismo e na informação de que a onda eletromagnética compreende uma mistura de um campo magnético  $H$  e um componente elétrico  $E$ , os quais são perpendiculares entre si e em direção à propagação da onda, sendo, por esse motivo, denominados ondas planas. O aquecimento a partir dessa técnica de secagem ocorre por meio da oscilação de ambos os componentes no campo, o que resulta na passagem pelo ponto zero na direção da propagação da onda. Conseqüentemente, ocorre a movimentação de íons, moléculas, átomos e o aumento da energia cinética dos componentes  $E$  e  $H$ , a qual é convertida em calor. Diante disso, o aquecimento é maior em função do aumento da intensidade do campo eletromagnético (MUJUMDAR, 2007). Na Figura 8, está representado o diagrama das ondas planas, sendo que  $E_0$  representa o campo elétrico e  $H_0$  corresponde ao campo magnético.

Figura 8 - Diagrama representativo das ondas planas e da amplitude dos campos elétrico ( $E_0$ ) e magnético ( $H_0$ ).



Fonte: Mujumdar (2007).

De acordo com Schiffmann (2020), o uso dessa metodologia requer a compreensão de dois termos importantes: aquecimento dielétrico e micro-ondas, os quais podem ser facilmente confundidos. Contudo, aquecimento dielétrico é um termo usado para se referir ao uso de ondas

eletromagnéticas de todos os comprimentos e frequências. No geral, neste tipo de aquecimento, as ondas possuem frequência que variam entre 1 e 100 MHz e o comprimento pode ser de vários metros. Em contrapartida, o termo micro-ondas refere-se à utilização de ondas eletromagnéticas que possuem faixas de comprimento e frequência específicas. O aquecimento por micro-ondas caracteriza-se por comprimentos de onda que variam entre  $10^{-3}$  e  $10^0$  m e frequências situadas no intervalo entre 300 MHz e 300 GHz (SCHIFFMANN, 2020).

Rosa (2010) afirma que o principal mecanismo no processo de secagem por micro-ondas é a rotação das moléculas polares, o qual também pode ser referido como aquecimento por rotação dipolar. Este processo caracteriza-se pela perturbação da orientação randômica das moléculas polares a partir da incidência de um campo elétrico. A orientação original é reestabelecida conforme o campo elétrico diminui. Contudo, em seguida, ocorre novamente a perturbação da orientação devido a incidência do campo elétrico apresentando polaridade inversa. Uma vez que ocorre a alternância contínua da polaridade do campo elétrico ocorre o alinhamento e desalinhamento dos dipolos durante milhões de vezes no intervalo de um segundo. Do ponto de vista da conversão de energia, esse processo resulta na transformação da energia do campo elétrico em energia potencial, a qual será, posteriormente, convertida em energia térmica no material submetido ao processo de secagem (ROSA, 2010).

De um modo geral, o processo de secagem por micro-ondas compreende três períodos distintos, os quais são definidos em função das variações na temperatura. Inicialmente ocorre um período de aquecimento, sendo que a temperatura da amostra aumenta e pouca variação na remoção da umidade é observada. O segundo período caracteriza-se pela temperatura constante, sendo que nessa etapa ocorre a maior parte do processo de secagem. E, no final, ocorre um período de aquecimento em que a taxa de secagem decresce e a temperatura da amostra cresce rapidamente. Esse último período tem sido associado a problemas de carbonização do produto, o que ocorre caso a temperatura atinja valores muito acima dos desejáveis (LI et al., 2011).

### *3.6.2.1 Vantagens e limitações*

O processo de secagem pelo método de micro-ondas está relacionado a fonte de energia criada, a qual possui como característica a geração de calor no interior dos materiais processados. Devido a geração de calor dentro dos materiais submetidos a essa técnica, geralmente, verifica-se que o tempo de processamento por meio desta é menor. Outras vantagens associadas ao uso de micro-ondas na secagem são: maior rendimento final do

produto, obtenção de qualidade superior quando comparado ao uso de outras técnicas (DECAREAU; PETERSON, 1986; SILVA et al., 2007), além do menor consumo de energia elétrica e da alta eficiência térmica (SANGA et al., 2000; REZAEI et al., 2019).

O emprego desta técnica na secagem de noz de macadâmia, por exemplo, resultou em um produto final com características sensoriais similares às características do produto seco por meio de métodos convencionais de secagem em estudo desenvolvido por Silva et al. (2007). Os autores destacaram ainda que esse processo resultou em menor rancificação do produto final quando amostras foram analisadas quanto as características de rancidez tanto após a realização da secagem, quanto após a submissão destas ao armazenamento por um período de seis meses (SILVA et al., 2007), o que demonstra as vantagens do uso da secagem por micro-ondas.

No entanto, apesar das diversas vantagens associadas ao emprego desse método de secagem e do seu constante aprimoramento, uma das principais limitações relacionados ao seu uso é a desuniformidade na secagem. Essa não uniformidade decorre da distribuição desigual da energia eletromagnética nas câmaras de secagem utilizando esta abordagem (LI; WANG; KUDRA, 2011).

Wray e Ramaswamy (2015) destacam ainda que as micro-ondas emitidas adentram a amostra e o calor resultante inserido no interior do material submetido a secagem pode resultar no rápido aquecimento da amostra. Nessa técnica, no interior da cavidade do aparelho pode ocorrer a produção de pontos quentes (“*hot spots*”) a partir do padrão de onda estacionária, o que pode resultar em temperaturas inadequadas no aquecimento da amostra e em consequentes danos devido a carbonização do material (ALIBAS, 2007; RABELLO, 2005; WRAY; RAMASWAMY, 2015).

Além disso, de acordo com Cheng et al. (2006), um aspecto relevante a ser considerado é que o processo de secagem por micro-ondas resulta no aumento contínuo da temperatura e pressão, mas a perda dos materiais submetidos ao tratamento reduz conforme o teor de umidade decresce. Como consequência do aumento da pressão e temperatura, ocorre a aceleração do processo de secagem, o que pode apresentar efeitos colaterais sobre o produto seco.

Os principais efeitos colaterais relacionados a secagem com uso de micro-ondas são a perda do valor biológico no caso de estruturas biológicas, a ocorrência de danos físicos no material e a distribuição desuniforme da temperatura sobre os materiais secos por meio deste método. Esses fatores relacionados a alteração das propriedades qualitativas dos produtos finais devido ao gradiente de potência elétrica de entrada e saída tem resultado no desenvolvimento de estudos focados na compreensão desta relação (CHENG et al., 2006).

No entanto, apesar dos efeitos colaterais descritos, o uso de micro-ondas no processamento de jabuticaba resultou em incremento no teor de compostos fenólicos e em aumento da atividade antioxidante comparativamente aos valores obtidos na fruta *in natura* em estudo realizado por Colpo (2015), o que justifica e reforça o uso dessa metodologia neste estudo.

### 3.7 Agentes carreadores

No processo de secagem de polpas de frutas, sobretudo pelo método de atomização, tem se empregado aditivos poliméricos, também denominados carreadores, os quais tem contribuído para otimização do processo de secagem. No geral, as polpas de frutas possuem teor elevado de açúcares, o que as tornam propícias à caramelização, além de que a alta concentração de açúcares resulta em alta pegajosidade e em baixa temperatura de transição vítrea. Essas características podem comprometer o processo de secagem, uma vez que, frequentemente, ocorre a adesão da polpa nas paredes do secador, o que dificulta o manuseio da mesma (BHANDARI; DATA; HOWES, 1997; SHAHIDI; HAN, 1993).

Diante disso, os agentes carreadores têm sido usados devido a capacidade desses de minimizar a higroscopicidade, a qual consiste na capacidade do produto adsorver a umidade presente no ambiente. A redução da higroscopicidade resulta em melhor manuseio do produto final. Além disso, os carreadores proporcionam aumento da temperatura de transição vítrea do pó formado, resultando em menor aderência, o que também otimiza a manipulação. Outra vantagem do uso dessas substâncias é que há aumento no rendimento do processo de secagem e o pó obtido apresenta maior estabilidade sob condições ambientais, o que é resultado da formação de uma espécie de filme protetor (OLIVEIRA; TONON; CABRAL, 2013; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Os agentes carreadores atuam como um material de revestimento, sendo que esses envolvem, em sua matriz, a substância-alvo. Como consequência, ocorre o isolamento da substância do ambiente externo (REZENDE et al., 2018). De acordo com Taxi (2000), os agentes carreadores mais usados na secagem são: frutose, maltodextrina, xarope de glicose, pectina, goma arábica, proteína, lactose e agente antiulectante. Dentre os agentes carreadores comumente usados, destaca-se a maltodextrina, a qual possui como características principais a baixa higroscopicidade, a alta solubilidade e o baixo custo. Esse agente carreador é o mais empregado na secagem em *spray dryer* (KHA; NGUYEN; ROACH, 2010).

A maltodextrina apresenta em sua estrutura química tanto moléculas menos complexas como a glicose quanto cadeias polissacarídicas complexas de amido. Uma vez que essa substância é um produto hidrolisado de amido, as maltodextrinas são compostas de uma mistura de sacarídeos, sobretudo D-glicose, uma série de oligossacarídeos, maltose e polissacarídeos, dentre os quais destacam-se as maltotrioses, os oligossacarídeos de maltotriose e as misturas de maltotetraose (CHRONAKIS, 1998).

Em estudo conduzido por Silva et al. (2013), constatou-se que o uso da maltodextrina no processo de secagem em *spray dryer*, na concentração de 30% associado a temperatura de secagem de 180 °C resultou em uma condição de otimização simultânea favorável a microencapsulação de extratos de jabuticaba. Além disso, essa substância, assim como a goma arábica, proporcionou maior homogeneidade na formação de partículas, o que é desejável no processo de microencapsulação a partir da técnica de *spray drying* (SILVA et al., 2013).

Santos (2018) também verificou efeito positivo no rendimento final de encapsulação de casca de jabuticaba (*M. cauliflora*) a partir da secagem em *spray dryer* com uso de agentes encapsulantes. Os resultados obtidos pelos autores demonstraram que a utilização de goma arábica proporcionou 36,05% de rendimento no processo enquanto o uso de maltodextrina resultou em 12,58%. O uso combinado de ambos os agentes, maltodextrina e goma arábica, resultou em 27,54% de rendimento na encapsulação.

Ademais, Nogueira et al. (2020) investigaram a potencial utilização de micelas de caseína reticuladas com transglutaminase no encapsulamento de compostos fenólicos de jabuticaba em condições de pH ácido e verificaram que essas proteínas podem ser empregadas como agentes encapsulante, visto que a capacidade antioxidante dos compostos fenólicos permaneceu estável após a realização da secagem em *spray dryer*.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Materiais

O presente trabalho utilizou frutos maduros de jabuticaba (*Myrciaria sp.*) obtidos entre os meses de outubro e novembro de 2020, de árvores adultas situadas em sítio privativo no município de Ibiá, Minas Gerais.

Os equipamentos necessários para a realização do preparo das amostras, métodos de secagem e análises laboratoriais foram disponibilizados pelo Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, localizados na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas.

### 4.2 Preparo e armazenamento das amostras

Após a colheita do material os frutos foram limpos, passando pela remoção das folhas, restos de galhos, poeira e demais sujidades que possivelmente estavam presentes. Na sequência as jabuticabas, inteiras, foram acondicionados em embalagens de polietileno e estocados inteiros em *freezer* à temperatura de -18 °C.

Em todas as análises e procedimentos realizados, os frutos de jabuticaba inteiros, ainda congelados, foram lavados em água corrente, processados em liquidificador industrial com capacidade de 2 L (Camargo, Brasil) para obtenção da polpa (Figura 9), sendo que a quantidade de água adicionada variou conforme metodologia de secagem utilizada. Em seguida, a polpa obtida foi submetida a peneiramento (peneira de *mesh* 18), para remoção de partículas com granulometria maior que 1,2 mm que poderiam resultar em entupimento do bico atomizador do *spray dryer* e, posteriormente, acondicionada em copos descartáveis de, aproximadamente, 120g cada (Figura 10).

A polpa então foi congelada em freezer, onde ficava armazenada até o momento de utilização. Conforme a necessidade de uso do material, as amostras foram retiradas do *freezer* e descongeladas à temperatura ambiente para a secagem no equipamento.



Figura 9 - Obtenção da polpa dos frutos de jabuticaba.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Figura 10 - Acondicionamento da polpa de jabuticaba em copos descartáveis para posterior secagem.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

### 4.3 Metodologias de secagem

O processo de secagem da jabuticaba foi avaliado através de três abordagens distintas: *spray dryer*, micro-ondas e infravermelho, as quais estão detalhadas a seguir:

#### 4.3.1 Secagem em *spray dryer*

O processo de *spray drying* foi realizado utilizando-se um *spray dryer* modelo LM MSD 1.0 da LabMaq, Brasil, com capacidade nominal de  $1 \text{ L.h}^{-1}$ , instalado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas. Testes preliminares foram realizados objetivando avaliar a necessidade da utilização de um agente carreador (maltodextrina) no processo de secagem por essa metodologia, o que se mostrou necessário devido à alta aderência do material nas paredes do secador. Previamente os experimentos de secagem, visando a viabilizar o bombeamento e a atomização sem entupimento, a polpa foi utilizada diluída a proporção de 1:1,5 de massa de

jabuticaba em relação à água para obtenção da suspensão, utilizando cerca de 120 g de material por experimento. A vazão de ar comprimido para a atomização seguiu as recomendações do fabricante, sendo fixada em 40 L.min<sup>-1</sup>. Em todos os experimentos foi utilizado bico injetor de abertura igual a 1,2 mm. Durante o processo, a suspensão a ser bombeada ao secador foi mantida sob agitação magnética a temperatura ambiente, para evitar a sedimentação das partículas.

Após testes preliminares, foi elaborado um Planejamento Composto Central Ortogonal (PCCO). O objetivo do PCC foi analisar o efeito de quatro variáveis distintas no processo de secagem em *spray dryer*. O PCC apresentou 4 réplicas no ponto central. Foi avaliado o impacto de quatro variáveis independentes.: Temperatura do ar de secagem (°C); Vazão do ar de secagem (m<sup>3</sup>/min); % de Maltodextrina e Vazão de alimentação (L/h), nas variáveis respostas: cor, umidade, rendimento de secagem, teor de compostos fenólicos totais (TPC), teor de flavonoides totais (TFC), acidez total titulável (ATT) e teor de ácido ascórbico (AA). O Planejamento Composto Central (PCC) Ortogonal ( $\alpha= 1,607$ ) com 4 variáveis independentes foi elaborado com os 16 ensaios referentes ao planejamento fatorial completo (2<sup>4</sup>) mais 12 experimentos adicionais (experimentos com níveis axiais e 4 réplicas no ponto central). Os resultados obtidos foram analisados com auxílio do *software* Statistica e foi adotado nível de significância de 10% ( $\alpha=0,10$ ) para verificar os parâmetros significativos.

Os níveis das variáveis independentes utilizados nos experimentos do PCC estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1- Planejamento experimental das variáveis independentes para secagem da jabuticaba em *spray dryer*.

Variáveis	- $\alpha$	-1	0	1	+ $\alpha$
Temperatura do ar de secagem (°C)	67,9	80	100	120	132,1
Vazão do ar de secagem (m <sup>3</sup> /min)	1,54	1,6	1,7	1,8	1,86
% de Maltodextrina	8,9%	15%	25%	35%	41,1%
Vazão de alimentação (l/h)	0,36	0,45	0,6	0,75	0,84

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A definição das faixas de variação entre os limites inferiores e superiores para as variáveis independentes estudadas foi realizada a partir de dados da literatura científica e por

meio da realização de testes preliminares. A matriz de planejamento do PCC realizado apresentada é na Tabela 2, com as condições utilizadas em cada secagem (níveis reais e codificados).

Tabela 2 - Níveis adotados para cada uma das variáveis independentes a serem avaliadas para secagem da jabuticaba em *spray dryer*.

Experimentos	x1	x2	x3	x4	x1	x2	x3	x4
	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m <sup>3</sup> /min)	Concentração de Maltodextrina (%)	Vazão de alimentação (L/h)				
1	800	1,6	15	0,45	-1	-1	-1	-1
2	120	1,6	15	0,45	1	-1	-1	-1
3	80	1,8	15	0,45	-1	1	-1	-1
4	120	1,8	15	0,45	1	1	-1	-1
5	800	1,6	35	0,45	-1	-1	1	-1
6	120	1,6	35	0,45	1	-1	1	-1
7	80	1,8	35	0,45	-1	1	1	-1
8	120	1,8	35	0,45	1	1	1	-1
9	80	1,6	15	0,75	-1	-1	-1	1
10	120	1,6	15	0,75	1	-1	-1	1
11	80	1,8	15	0,75	-1	1	-1	1
12	120	1,8	15	0,75	1	1	-1	1
13	80	1,6	35	0,75	-1	-1	1	1
14	120	1,6	35	0,75	1	-1	1	1
15	80	1,8	35	0,75	-1	1	1	1
16	120	1,8	35	0,75	1	1	1	1
17	67,9	1,7	25	0,7	-1,61	0	0	0
18	132,1	1,7	25	0,6	1,61	0	0	0
19	100	1,54	25	0,6	0	-1,61	0	0

20	100	1,86	25	0,6	0	1,61	0	0
21	100	1,7	8,9	0,6	0	0	-1,61	0
22	100	1,7	41,1	0,6	0	0	1,61	0
23	100	1,7	25	0,36	0	0	0	-1,61
24	100	1,7	25	0,84	0	0	0	1,61
25	100	1,7	25	0,6	0	0	0	0
26	100	1,7	25	0,6	0	0	0	0
27	100	1,7	25	0,6	0	0	0	0
28	100	1,7	25	0,6	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Para realização dos experimentos em *spray dryer*, realizou-se o descongelamento da polpa de jabuticaba à temperatura ambiente. Em seguida, realizou-se a adição manual de maltodextrina à polpa do fruto descongelada, conforme as proporções definidas no Planejamento Composto Central para cada experimento (Tabela 2), sendo a solução obtida homogeneizada em agitador magnético por um período de 10 min. Dessa forma, após a solução homogeneizada, foi realizada a secagem em *spray dryer* conforme níveis das variáveis indicados em cada experimento.

O rendimento de secagem em *spray dryer* foi determinado a partir da relação entre a massa de sólidos de pó coletado e a massa de sólidos da polpa alimentada no secador, conforme a Equação 1:

$$RS = \left( \frac{Ms,pó}{Ms,polpa} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que RS refere-se ao rendimento da secagem (%),  $Ms,pó$  é a massa de sólidos da amostra em pó (g) coletada após secagem e  $Ms,polpa$  é a massa de sólidos da polpa (g) alimentada no secador.

Em cada variável foi encontrada a equação de regressão para descrever o comportamento, assim para encontrar o valor real as variáveis codificadas foram transformadas de acordo com as Equações 2 a 5.

$$x_1 = \frac{(T-100)}{20} \quad (2)$$

$$x_2 = \frac{(V-1,7)}{0,1} \quad (3)$$

$$x_3 = \frac{(M-0,28)}{0,1} \quad (4)$$

$$x_4 = \frac{(v-0,6)}{0,15} \quad (5)$$

Em que T é temperatura, V a vazão do ar de secagem, M a concentração de maltodextrina e v a vazão de alimentação.

#### 4.3.2 Secagem por micro-ondas

O processo de secagem por micro-ondas foi realizado utilizando-se um aparelho micro-ondas convencional doméstico da marca Panasonic, modelo NN-ST254W com capacidade de 21 L e potência nominal de 700W (Figura 11), instalado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas.

Figura 11 - Aparelho de micro-ondas Panasonic NN-ST254W.



Fonte: Google Imagens (2021).

Para secagem da jabuticaba em micro-ondas, a polpa foi diluída na proporção de 1:0,5 de massa de jabuticaba em relação à quantidade de água para uma melhor homogeneização do agente carreador, utilizando-se cerca de 120 g de material em cada experimento, espalhados uniformemente em um prato de vidro comum que era colocado no interior do equipamento.

Testes preliminares foram realizados submetendo a polpa da jabuticaba à diferentes potências e diferentes intervalos de tempo, de modo a definir condições de secagem nas quais a remoção de umidade fosse efetiva. As amostras desidratadas por micro-ondas, de acordo com a potência aplicada, apresentaram grande aderência no recipiente. Assim, fez-se necessário a adição de maltodextrina para diminuição da aderência do material e obtenção de maior rendimento do produto final. Além disso, foi verificado o tempo mínimo necessário para secagem do produto até uma umidade inferior a 10% para cada potência trabalhada (70, 280, 490 e 700W). E, assim que foi definido o tempo, o mesmo foi fixado e foram realizadas 3 análises para cada potência, variando o percentual de maltodextrina entre 0, 15 e 20% a fim de avaliar o impacto desse agente carreador nos resultados de umidade e compostos bioativos. Ademais, definiu-se as condições experimentais apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Planejamento dos experimentos na secagem por micro-ondas.

<b>Experimento</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Concentração de Maltodextrina (%)</b>
1	70	136	0
2	70	136	15
3	70	136	25
4	280	33	0
5	280	33	15
6	280	33	25
7	490	16	0
8	490	16	15
9	490	16	25
10	700	10	0
11	700	10	15
12	700	10	25

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Conforme mencionado, os tempos de cada experimentos mostrados na Tabela 3, os tempos foram definidos de maneira a se atingir uma umidade de produto final inferior a 10%. Sendo assim, foi realizado um planejamento experimental no qual as polpas foram desidratadas em potências de 70, 280, 490 e 790W nos respectivos tempos de 10, 16, 33 e 136 min. Foram

realizados 12 experimentos variando-se a potência e o percentual, em massa, de maltodextrina entre 0, 15 e 25%.

#### 4.4 Análises realizadas

Além da secagem em diferentes equipamentos, as amostras de jabuticaba passaram por uma série de análises físico-químicas com o objetivo de verificar suas propriedades e os efeitos de cada metodologia de secagem no produto obtido. Dessa forma, tanto as amostras *in natura* quanto secas foram submetidas às análises descritas a seguir.

##### 4.4.1 Umidade

A umidade presente nas amostras foi determinada conforme metodologia proposta pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2005), sendo que as amostras foram secas em estufa (Ethik Technology, modelo 400-TD, Brasil) a temperatura de cerca de  $105 \pm 2$  °C por 24 h, sendo então pesadas em balança analítica (Shimadzu, modelo AUW320, Brasil). A umidade das amostras, em base úmida, foi calculada de acordo com a Equação 6:

$$M = ((M_s - M_{ss}) / M_s) * 100 \quad (6)$$

Em que M é a umidade do produto em base úmida (%),  $M_s$  é a massa de sólido úmido (sólidos e água) e  $M_{ss}$  é a massa de sólidos seco.

##### 4.4.2 Cor Instrumental

Quanto aos padrões de coloração as amostras foram avaliadas por refletância com uso de colorímetro digital, modelo Konica Minolita CR-400/410 (Figura 12), o qual apresenta escala CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). As amostras estavam na temperatura de 25 °C para realização de tal análise e as medidas de coloração foram expressas em termos da luminosidade  $L^*$  (em que  $L^* = 0$  escuro e  $L^* = 100$  claro) e da cromaticidade definida por  $a^*$  (em que  $+a^*$  = vermelho e  $-a^*$  = verde) e  $b^*$  (em que  $+b^*$  = amarelo e  $-b^*$  = azul).

Figura 12 - Colorímetro digital modelo Konica Minolita CR-400/410.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

#### 4.4.3 Compostos bioativos

##### 4.4.3.1 Teor de compostos fenólicos totais (TPC)

A determinação do teor de compostos fenólicos totais (TPC) foi feito por metodologia adaptada de Singleton e Rossi (1965). As amostras previamente pesadas em triplicata e foram submetidas a extração utilizando cerca de 20 mL de metanol absoluto, o qual foi colocado em contato com as mesmas em um tubo Falcon com tampa e agitado em vórtex NSA002441 da Edutec por 3 min. Após essa agitação, a mistura foi disposta em local escuro, sob condição de temperatura ambiente, por uma hora objetivando uma maior extração dos compostos presentes. Após descanso, foi feita filtração utilizando papel filtro, para obtenção do filtrado que então foi destinado as análises.

A mensuração do teor de compostos fenólicos totais foi baseada no método de *Folin-Ciocalteu*, no qual uma solução reagente de íons atua na oxidação de fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul e permitindo, dessa forma, a leitura em espectrofotômetro (SILVA, 2014). O ácido gálico foi usado como padrão, conforme preconizado por Singleton e Rossi (1965).

Foram adicionadas alíquotas do extrato da amostra em cada tubo. Em seguida, foi acrescentado 2,5 mL de Folin-Ciocalteu (1:10), mantendo o sistema em banho termostatizado à 50°C por 5 min. Posteriormente, foi adicionado 2,0 mL de NaCO<sub>3</sub> (75 g/L) e realizada a agitação para homogeneização dos tubos e mantido à 50°C por mais cinco minutos. Após esse tempo, os tubos foram agitados manualmente para homogeneização e esfriados em água gelada.



Após o resfriamento, foi realizada a leitura do teor de fenólicos totais em espectrofotômetro à 622 nm e a construção da curva analítica foi realizada com uso do ácido gálico como padrão. Os resultados da análise foram expressos em mg de ácido gálico / 100 g amostra em base seca.

#### 4.4.2.2 Teor de Flavonoides totais (TFC)

Com o mesmo extrato obtido para determinação dos fenólicos totais, foi feita a determinação do teor de flavonoides totais (TFC) em metodologia colorimétrica adaptada de Zhishen et al. (1999) e leitura em espectrofotômetro. A metodologia empregada utilizou o cloreto de alumínio ( $\text{AlCl}_3$ ) como agente de deslocamento visando reduzir a interferência de outros compostos durante o processo de leitura da absorbância da solução (SILVA, 2019).

Para tal, foram adicionadas alíquotas do extrato da amostra em cada tubo, sendo em seguida acrescentados 0,3 mL de  $\text{NaNO}_2$ . Cinco minutos após a adição de  $\text{NaNO}_2$ , foram adicionados 0,6 mL de  $\text{AlCl}_3$  10% e, após cinco minutos, adicionados 2 mL de  $\text{NaOH}$  1 M às amostras. Os tubos foram agitados manualmente para homogeneização e foi realizada a leitura do teor de flavonoides totais em espectrofotômetro à 450 nm. A curva de calibração foi construída utilizando a rutina ( $\text{C}_{27}\text{H}_{30}\text{O}_{16}$ ) como padrão e os resultados obtidos foram expressos em mg de rutina/100 g de amostra em base seca.

#### 4.4.2.3 Acidez Total Titulável (ATT)

A análise de acidez total titulável (ATT) foi realizada através do método titulométrico proposto pela *Association of Official Analytical Chemists - AOAC* (AOAC, 1995) e consistiu na quantificação do ácido cítrico presente na amostra. As amostras foram previamente maceradas com água destilada até se atingir um volume de 250 mL de solução, denominada “suco”. Para um volume de 30 mL do suco obtido foram adicionadas 3 gotas do indicador ácido-base fenolftaleína 1% e, posteriormente, a amostra foi destinada a titulação com hidróxido de sódio 0,1 N padronizado, até a mudança da coloração. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico/100 g de amostra em base seca.

#### 4.4.2.4 Teor de Ácido Ascórbico (AA)

A determinação do teor de ácido ascórbico (AA) também foi realizada por titulometria (AOAC, 1995), utilizando-se o mesmo suco obtido na análise de acidez. A metodologia de determinação do teor de AA baseou-se na redução do composto 2,6-diclorofenol-indofenol pelo ácido ascórbico. Para tal, adicionou-se ao suco uma solução de ácido oxálico 2%, e então submeteu-se o mesmo a titulação a partir do uso da solução de 2,6-diclorofenol-indofenol (DCFI) 0,025% padronizado. Os resultados obtidos foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g amostra em base seca.

#### 4.4.4 Cinzas

O teor de cinzas foi realizado para a amostra *in natura* através da incineração da mesma em mufla (Marca Lucadema, Modelo LUCA2000F-DMRP) à temperatura de 600°C durante 4h, utilizando-se cerca de 4 g de material previamente seco em estufa a 105°C por 24 h. O resultado foi expresso em % de cinza em relação à massa inicial da amostra.

#### 4.4.5 Densidade Absoluta

A densidade absoluta da polpa *in natura* a temperatura ambiente foi obtida utilizando-se um picnômetro de vidro de 100 mL com termômetro. Para a densidade relativa, que é a relação entre a densidade de uma substância e a densidade definida como padrão (SAMPAIO; SILVA, 2007), foi utilizado como comparação a densidade da água à 25°C (ADOLFO LUTZ, 2008).

#### 4.4.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) foi utilizado para medir os níveis de acidez e alcalinidade da jabuticaba e foi medido através de um potenciômetro (TECNOPON mPA 210, Brasil).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados das análises da polpa *in natura* (caracterização) e, em seguida, dos pós obtidos nas secagens da polpa de jabuticaba pelos métodos de secagem em *spray dryer* e em micro-ondas. Além disso, serão mostrados os resultados referentes à cinética de secagem realizada via infravermelho. Em cada seção, serão apresentadas as comparações entre os resultados obtidos após a secagem com a polpa *in natura*.

### 5.1 Caracterização da polpa de jabuticaba

As análises de caracterização da polpa de jabuticaba *in natura* visavam a comparação com o material após cada método de secagem. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos na caracterização da polpa de jabuticaba.

Análise	Resultados
pH	3,71 ± 0,02
Densidade	1,00 ± 0,01 g/mL
Cinzas	0,28 ± 0,02 %
Fenólicos	9268,3 ± 584,0 mg ácido gálico/ 100 g <sup>1</sup>
Flavonoides	19,98 ± 2,83 mg rutina/ 100 g <sup>1</sup>
Acidez	8285,9 ± 594,0 mg ácido cítrico/ 100 g <sup>1</sup>
Ácido Ascórbico	239,4 ± 16,8 mg ácido ascórbico/ 100 g <sup>1</sup>
Cor - L*	17,16 ± 0,67
Cor - a*	6,36 ± 0,01
Cor - b*	2,56 ± 0,32

[1] Em base seca

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Para as análises *in natura*, realizou-se o descongelamento da polpa à temperatura ambiente e foi utilizada a proporção de 1:0,5 de massa de jabuticaba em relação à água. O

resultado encontrado para a umidade foi de  $90,59 \pm 0,62$  %, mostrando um material com uma elevada quantidade de água, o que evidencia a necessidade de se realizar a secagem e definir um método adequado para que seja possível a armazenagem e conservação do alimento sem a proliferação de microrganismos.

O resultado encontrado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011), foi correspondente a 83,6% e Nogueira (2017) na secagem da jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma por Nogueira (2017) encontrou o valor de 84,42% de umidade na polpa.

O pH obtido foi de  $3,71 \pm 0,02$ %, caracterizando a polpa de jabuticaba como ácida o que desfavorece o desenvolvimento de bactérias cuja faixa para desenvolvimento de microrganismos varia de 5 a 8 (Storck et al., 2015). Tal resultado é próximo ao encontrado por Lima et al. (2008), que obtiveram valores de pH de 3,39 para a casca da jabuticaba e 3,55 para fruto inteiro, e também, está situado dentro da faixa obtida por Oliveira et al. (2003), que variou de 2,91 e 3,72 para a jabuticaba da variedade Sabará. Assim, os valores obtidos por estes autores estão em concordância com as observações feitas no presente estudo. É relevante mencionar que a determinação do pH do fruto é importante, visto que o nível de acidez está ligado diretamente ao grau de maturação, sendo que a maioria dos frutos apresentam uma diminuição na acidez com progresso da maturação (COSTA, 1991).

A densidade obtida a partir do extrato da jabuticaba foi de  $1,00 \pm 0,01$  g/mL, próximo ao valor encontrado por Santos (2022) que foi de 1,04 g/mL para a polpa de jabuticaba ao avaliar a secagem da polpa de jabuticaba em camada de espuma utilizando a caseína como emulsificante.

O teor de cinzas encontrado foi de  $0,28 \pm 0,02$ %, valor inferior ao que consta na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2017) que foi de 0,36 mg de cinzas em 100 g do fruto *in natura*, e ao encontrado por Cavalcanti (2013) que foi de 0,48g de cinzas em 100g de fruto *in natura* em seu estudo de extração de antocianinas do resíduo de jabuticaba. Portanto, o resultado obtido sugere uma baixa quantidade de material inorgânico na polpa de jabuticaba analisada no presente estudo.

Em relação ao Teores de Compostos Bioativos, foi encontrado  $9268,3 \pm 584,0$  mg ácido gálico/ 100 g amostra em base seca para o Teor de Fenólicos Totais (TPC). O resultado obtido é superior ao observado por Santos et al. (2010), os quais verificaram teor de TPC de 2633,5 mg/100 g em base seca do composto na casca do fruto fresco. Neves et al. (2021) encontraram o valor de  $1589,52 \pm 439,53$  mg/100g de fruta para a variedade Paulista e  $1264,31 \pm 183,54$

mg/100g para a variedade Sabará na identificação e quantificação da composição de fenólicos totais de diferentes espécies de jabuticaba. Vasco (2009) afirma que materiais que possuem alto teor de compostos fenólicos estão acima de 1000 mg ácido gálico/ 100 g em base seca. Diante disso, o resultado obtido pode indicar que a polpa de jabuticaba analisada nesse estudo apresentou concentrações elevadas de compostos fenólicos totais.

O Teor de Flavonoides Totais (TFC) encontrado foi de  $19,98 \pm 2,83$  mg rutina/ 100 g de amostra em base seca, valor considerado alto quando comparado a Lima (2008), que obteve para o fruto inteiro 6,49 g/100g de matéria seca para a variedade Paulista e 8,51 g/100g de matéria seca na variedade Sabará. Atualmente, não existem uma grande quantidade de trabalhos na literatura que avaliem o teor desse composto na jabuticaba, mas assim como ocorreu na comparação de fenólicos totais, entre os valores verificados no presente estudo e aqueles da literatura, tais variações podem ser justificadas pelas diferentes condições climáticas e de cultivo das plantas, que impactam em seus compostos bioativos

O valor de Acidez Total Titulável (ATT) obtido foi de  $8285,93 \pm 594,04$  mg ácido cítrico/100g de amostra em base seca, valor superior ao encontrado por Lima (2008) e Marquetti (2014) para frutos frescos colhidos em diferentes regiões do país, que foram respectivamente, 1,41g de ácido cítrico/ 100g amostra para a variedade Sabará e 0,56 g de ácido cítrico/100g de massa fresca para a casca de jabuticaba. O valor foi inferior ao encontrado por Balisteiro (2013) que foi de 19,6 g eq de ácido cítrico/ 100g de amostra. A divergência entre os valores encontrados em diferentes estudos científicos pode estar relacionada ao grau de maturação no momento de colheita do fruto e às características edafoclimáticas da região de cultivo. Além disso, esse valor alto encontrado para acidez total titulável, justifica o baixo valor de pH verificado nesse estudo, conforme citado anteriormente.

O Teor de Ácido Ascórbico (TAA) encontrado foi de  $239,43 \pm 16,86$  mg ácido ascórbico/ 100g de amostra seca, valor próximo ao relatado por Rufino (2011), o qual verificou 238 mg de ácido ascórbico/100g de amostra seca, e por Lima (2008) que encontrou 265,68 mg de ácido ascórbico/100g de amostra seca no fruto inteiro.

A análise de cor instrumental é de extrema importância por ser um atributo de qualidade que impacta na aceitação do consumidor, sendo a escala  $L^*a^*b^*$  uma das mais utilizadas nessa análise devido a distribuição uniforme das cores (WU; SUN, 2013). Em relação a luminosidade (parâmetro  $L^*$ ), o valor obtido foi de  $17,16 \pm 0,67$ , considerado baixo quando se considera a escala de (0 a 100). Esse resultado demonstra maior intensidade da cor preta. Nunes et al. (2014)

encontraram valor de 21,57, indicando que a polpa usada no presente trabalho apresentou coloração mais escura comparativamente aquela utilizada por esses autores.

Em relação ao parâmetro  $a^*$ , que é a variação entre vermelho e verde, o valor encontrado foi de  $6,36 \pm 0,01$ , indicando a prevalência da cor vermelha. Já o parâmetro  $b^*$ , que representa a variação entre o amarelo e o azul, o valor encontrado foi de  $2,56 \pm 0,32$ , indicando a prevalência da cor amarela.

## 5.2 Experimentos em *spray dryer*

Como relatado previamente, os testes preliminares realizados em *spray dryer* sem a adição de agente carreador (maltodextrina) na polpa produziram um pó que apresentou grande aderência nas paredes da câmara de secagem e da tubulação entre ela e o ciclone da unidade, resultando em pequenas quantidades de pós, que ficaram impregnadas no recipiente coletor no *underflow* do ciclone, conforme Figura 13, o que conduz a um baixo rendimento. Por esse motivo, foi avaliado no planejamento experimental a concentração ideal de maltodextrina. Constatou-se, nessas condições, que as amostras desidratadas em *spray dryer* apresentaram, visualmente, uma coloração de pó variando entre as cores rosa claro e rosa escuro conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 13- Secagem da polpa do fruto sem maltodextrina em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Figura 14 - Secagem da polpa do fruto e obtenção do pó em *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os resultados obtidos para rendimento (em massa) e umidade (b.u) das amostras obtidas após a secagem em *spray dryer* estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5- Resultados obtidos para Rendimento e Umidade do Pó na secagem em *spray dryer* em função das variáveis independentes.

Experimentos	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m <sup>3</sup> /min)	Concentração de Maltodextrina (%)	Vazão de alimentação (L/h)	Rendimento %	Umidade %
1	80	1,6	15	0,45	58,53	3,62
2	120	1,6	15	0,45	62,83	1,31
3	80	1,8	15	0,45	51,36	3,08
4	120	1,8	15	0,45	55,22	2,35
5	80	1,6	35	0,45	48,13	2,96
6	120	1,6	35	0,45	44,77	1,34
7	80	1,8	35	0,45	38,31	3,18
8	120	1,8	35	0,45	58,69	0,62
9	80	1,60	15	0,75	39,72	4,54
10	120	1,60	15	0,75	57,47	2,74
11	80	1,80	15	0,75	39,72	4,33
12	120	1,80	15	0,75	37,44	2,53

13	80	1,60	35	0,75	23,37	4,10
14	120	1,60	35	0,75	53,68	1,58
15	80	1,80	35	0,75	19,92	3,74
16	120	1,80	35	0,75	56,78	1,78
17	67,90	1,70	25	0,60	22,30	3,23
18	132,14	1,70	25	0,60	56,75	1,80
19	100	1,54	25	0,60	35,38	2,60
20	100	1,86	25	0,60	48,07	1,72
21	100	1,70	8,9	0,60	47,62	4,49
22	100	1,70	41,1	0,60	45,99	2,01
23	100	1,70	25	0,36	51,23	1,89
24	100	1,70	25	0,84	35,51	2,77
25	100	1,70	25	0,60	42,69	3,15
26	100	1,70	25	0,60	41,07	2,21
27	100	1,70	25	0,60	49,49	3,50
28	100	1,70	25	0,60	39,02	2,57

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

### 5.2.1 Rendimento

O maior rendimento encontrado na secagem de jabuticaba em *spray dryer* foi de 62,83% (Experimento 2), realizado na temperatura de 120°C (+1), vazão do ar de secagem 1,6 m<sup>3</sup>/min (-1), 15% de maltodextrina (-1) e vazão de alimentação de 0,45 L/h (-1), indicando que o maior rendimento foi resultado de uma maior temperatura associada com menor vazão de alimentação e baixa concentração de maltodextrina. Isso pode ser evidenciado quando comparado ao menor rendimento encontrado que foi de 19,92% (Experimento 15), no qual a secagem foi realizada nas condições de temperatura de 80°C (-1), vazão do ar de secagem de 1,8m<sup>3</sup>/min (+1), 35% de maltodextrina (+1) e vazão de alimentação de 0,75 L/h (+1). Essa tendência observada para estas variáveis está representada na Tabela 6, na qual estão apresentados os experimentos com



os maiores e menores rendimentos em ordem decrescente, o qual seguem em sua maioria tal comportamento.

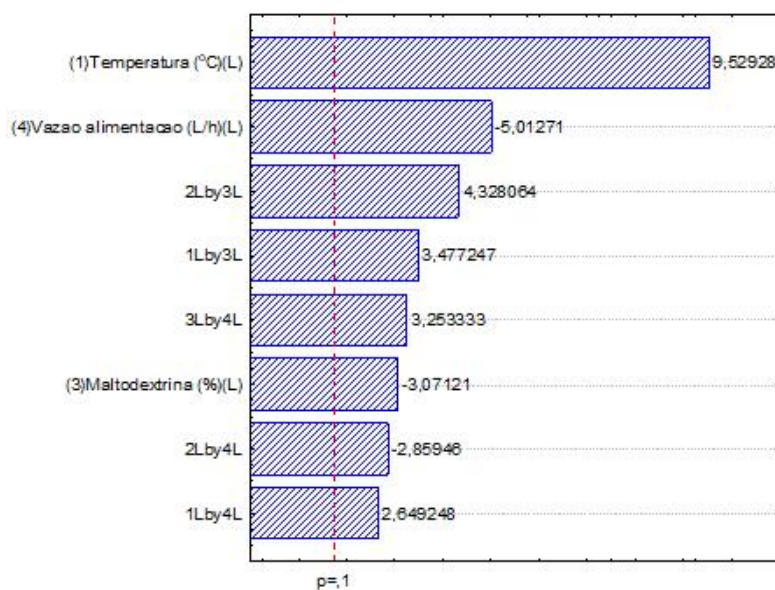
Tabela 6 - Experimentos de menores e maiores rendimentos obtidos na secagem em *spray dryer*.

Exp.	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m <sup>3</sup> /min)	Maltodextrina (%)	Vazão de Alimentação (L/h)	Rendimento (%)
2	120	1,60	15	0,45	<b>62,83</b>
8	120	1,80	35	0,45	<b>58,69</b>
1	80	1,60	15	0,45	<b>58,53</b>
...					
15	80	1,80	35	0,75	<b>19,92</b>
17	67,69	1,70	25	0,60	<b>22,30</b>
13	80	1,60	35	0,75	<b>23,34</b>

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Para um melhor entendimento do efeito das variáveis do PCC, foi realizada uma regressão múltipla para análise estatística dos dados. O Gráfico de Pareto está apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas na resposta Rendimento.



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m<sup>3</sup>/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Através do Gráfico de Pareto (Figura 15), foi possível observar que a variável temperatura apresentou o maior efeito significativo, de forma positiva, ou seja, quanto maior a temperatura maior o rendimento encontrado. O segundo maior efeito foi observado para a vazão de alimentação, que apresentou um efeito significativo de forma negativa, ou seja, quanto mais lenta a alimentação da polpa ao secador, maior o rendimento obtido.

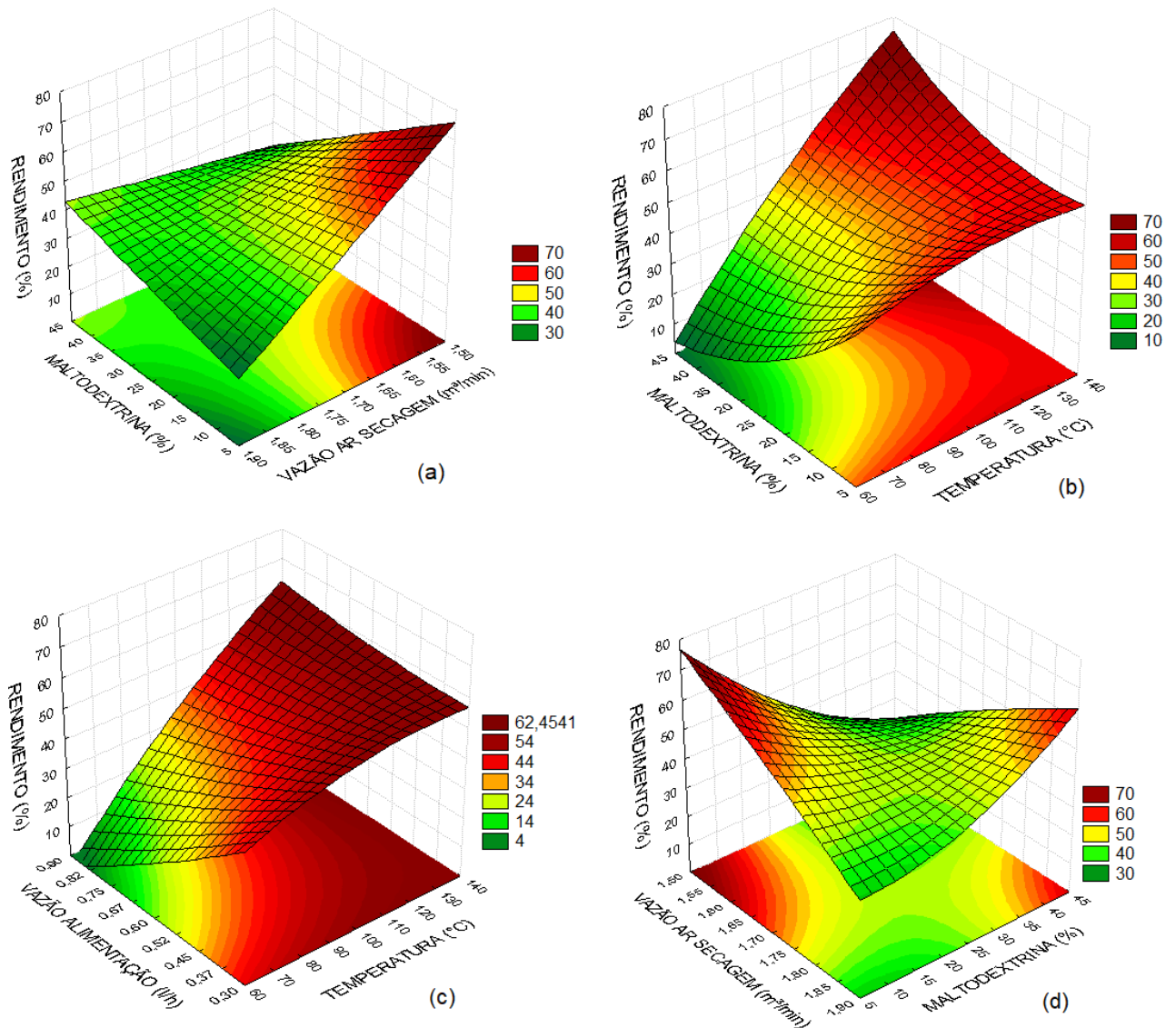
Com base nos resultados obtidos, o rendimento da secagem em *spray dryer* pôde ser expresso pela Equação 7 ( $R^2 = 0,9051$  e  $\alpha = 0,10$ ), em que as variáveis temperatura ( $x_1$ ), % de maltodextrina ( $x_3$ ) e vazão de alimentação ( $x_4$ ) foram significativas tanto de forma independente como combinada. Contudo, a variável vazão do ar de secagem ( $x_2$ ) foi significativa somente de forma combinada.

$$\text{Rendimento} = 43,40 + 9,91.x_1 - 3,14.x_3 - 5,13.x_4 + 4,19.x_1.x_3 + 3,19.x_1.x_2 + 5,32.x_4.x_3 - 3,51.x_4.x_2 + 4,00.x_3.x_2 \quad (7)$$

Na Figura 16 são apresentadas as superfícies de respostas geradas de acordo com os resultados obtidos, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central. Em relação a Temperatura, pôde-se verificar que os experimentos com menores rendimentos foram aqueles realizados em temperaturas mais baixas. Possivelmente, nessas condições, as temperaturas podem não ter sido suficientes para retirar toda a umidade do material devido à baixa transferência de calor e, conseqüentemente, ocasionaram maior umidade e aderência do pó ainda úmido nas paredes do secador.

Em contraste, temperaturas mais altas ocasionaram maiores transferências de calor e retirada da umidade do pó, o que resultou em menor aderência do pó nas paredes do secador. Essa tendência está de acordo com os resultados publicados por Bazaria e Kumar (2016) ao verificar os efeitos das variáveis na secagem em *spray dryer* do suco de beterraba. Fazaeli et al. (2012) também verificaram que maiores temperaturas de entrada do ar provocaram aumentos no rendimento, diminuição da densidade e umidade na secagem de amora preta com a utilização de maltodextrina como agente carreador. De acordo com os resultados do presente estudo, é possível verificar que os maiores rendimentos são encontrados em temperaturas acima de 110°C (Figuras 16.b e 16.c).

Figura 16 - Efeito das variáveis do, PCC no Rendimento obtido no *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Em relação a vazão de alimentação no seu efeito principal, pôde-se verificar que os experimentos com as menores vazões geraram os maiores rendimentos. Isso pode ser explicado pelas maiores gotículas que são geradas nas secagens com maiores vazões de alimentação, sendo que o contato com o ar quente pode ser muito rápido e insuficiente para a que ocorra a troca de calor necessária para evaporação e secagem eficiente. Nessas condições de secagem, os pós gerados apresentaram maiores teores de umidade, o que ocasiona maior aderência nas paredes do secador e conseqüente perda de rendimento. Porém, quando se verifica o efeito de vazão de alimentação com interação (Figura 16.a), nota-se um efeito positivo.

Chaul et al. (2017) verificaram que ao aumentar a vazão de alimentação e diminuir a temperatura, os rendimentos diminuíram devido às perdas de partículas por meio do ar exaurido

que passa pelo ciclone. O aumento na vazão de alimentação com uma vazão de atomização constante provoca um aumento das gotículas, assim a secagem deve ocorrer em uma área de superfície maior e, conseqüentemente, a remoção de água é afetada negativamente devido a uma menor transferência de calor e massa (CAN KARACA et al., 2016; MUZAFFAR; KUMAR, 2015). A vazão de alimentação gerou maiores valores de rendimento quando menor que 0,5 L/h (Figuras 16.a e 16.c), sendo que o aumento na vazão de alimentação pode ter resultado em redução da temperatura de saída e conseqüente acúmulo de pó nas paredes do secador, diminuindo o rendimento final do produto (MASTERS, 1985; RANKELL et al., 2001).

Em relação a vazão do ar de secagem, dentro da faixa adotada, a variável foi significativa de forma combinada (Figura 16.d). De acordo com Hong e Choi (2007), uma vazão do ar de secagem menor combinada com uma vazão de alimentação maior não permite um contato eficaz entre o ar e as gotículas, gerando produtos com maiores umidades e também maior aderência ao secador.

Já para a concentração de maltodextrina, verificou-se que altos valores da mesma apresentaram efeito negativo, sendo observado que maiores rendimentos foram obtidos em concentrações de 15% (Figuras 16.a e 16.d). Em estudos conduzidos por Muzaffar e Kumar (2015) e Sablania e Mosco (2018) verificou-se aumento no rendimento com o aumento da concentração de agente carreador ao realizar a secagem da folha de curry e tamarindo, respectivamente. Entretanto, para a jabuticaba, verificou-se que há uma faixa limite por volta de 20 a 25% de concentração, acima da qual, ocorre prejuízo a produção de pó na saída do *spray dryer*, ou seja, nas interações, dependendo do nível das outras variáveis, o aumento na concentração de maltodextrina reduz o rendimento.

Assim, evidenciou-se que dentro das faixas experimentais testadas, temperaturas mais altas, concentrações baixas e intermediárias de maltodextrina e baixas vazões de alimentação resultaram nos melhores resultados de rendimento na secagem da polpa de jabuticaba em *spray dryer*. Já o impacto da vazão do ar de secagem foi reduzido comparativamente às demais variáveis-resposta analisadas.

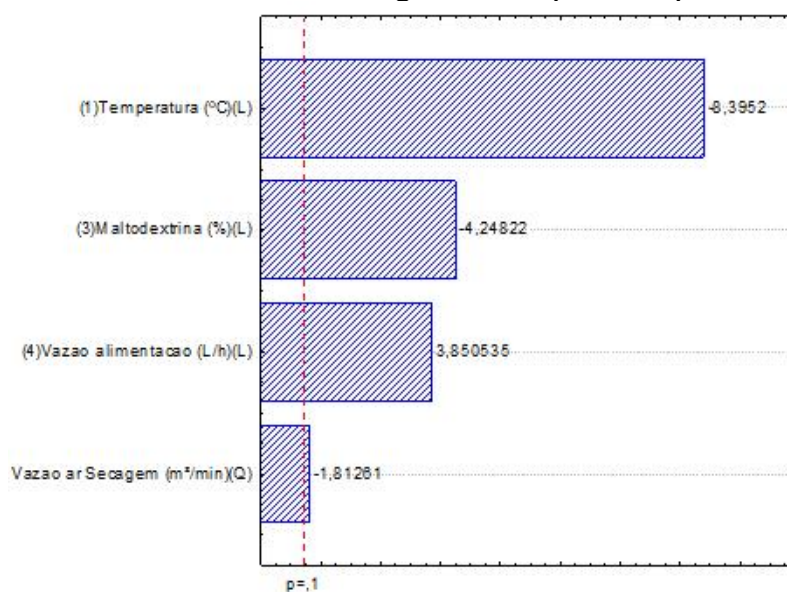
### 5.2.2 Umidade final

A faixa de umidade dos pós obtidos na secagem em *spray dryer* variou entre 0,62 e 4,54%, conforme apresentado na Tabela 5. Os resultados obtidos demonstram que em todos os

experimentos foram produzidos pós com umidades inferiores a 5%, o que evidência a eficiência do método de secagem por atomização. Essa faixa de umidade encontrada foi um pouco inferior a observada por Lima (2017) na secagem em *spray dryer* do pó do extrato da casca do jamba, visto que o autor relatou uma faixa entre 3,6 e 5,57% de umidade. Resultados semelhantes de umidade, com valores entre 2,14 e 2,24%, foram encontrados na secagem da goiaba em diferentes concentrações de maltodextrina (30, 40, 50 e 60%) e temperatura de entrada de 160°C por Mahendran (2010). As diferenças no teor de umidade do pó entre diferentes estudos com uso do *spray dryer* podem estar associadas às características específicas dos diferentes frutos submetidos à secagem.

Para um melhor entendimento do efeito das variáveis do PCC sobre a umidade final obtida, foi realizada uma regressão múltipla para análise estatística dos dados e, a partir do Gráfico de Pareto (Figura 17), foi possível observar que a variável temperatura foi a que apresentou o maior efeito significativo de forma negativa. Logo, quanto maior a temperatura, menor a umidade do pó produzido. A umidade também foi influenciada significativamente e de maneira negativa pela concentração de maltodextrina, indicando que quanto maiores os teores de maltodextrina adicionados na polpa antes da secagem, menor a umidade final obtida no pó. Por outro lado, a vazão de alimentação influenciou positivamente os resultados, indicando que menores vazões de alimentação, produziram pós com menor umidade final.

Figura 17 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Umidade do Pó.



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m³/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

A Umidade Final foi expressa pela Equação 8 ( $R^2=0,8041$  e  $\alpha= 0,10$ ), sendo possível verificar que as variáveis temperatura ( $x_1$ ), maltodextrina ( $x_3$ ) e vazão de alimentação ( $x_4$ ) foram estatisticamente significativas. Para a variável maltodextrina ( $x_3$ ) também se observou um comportamento quadrático.

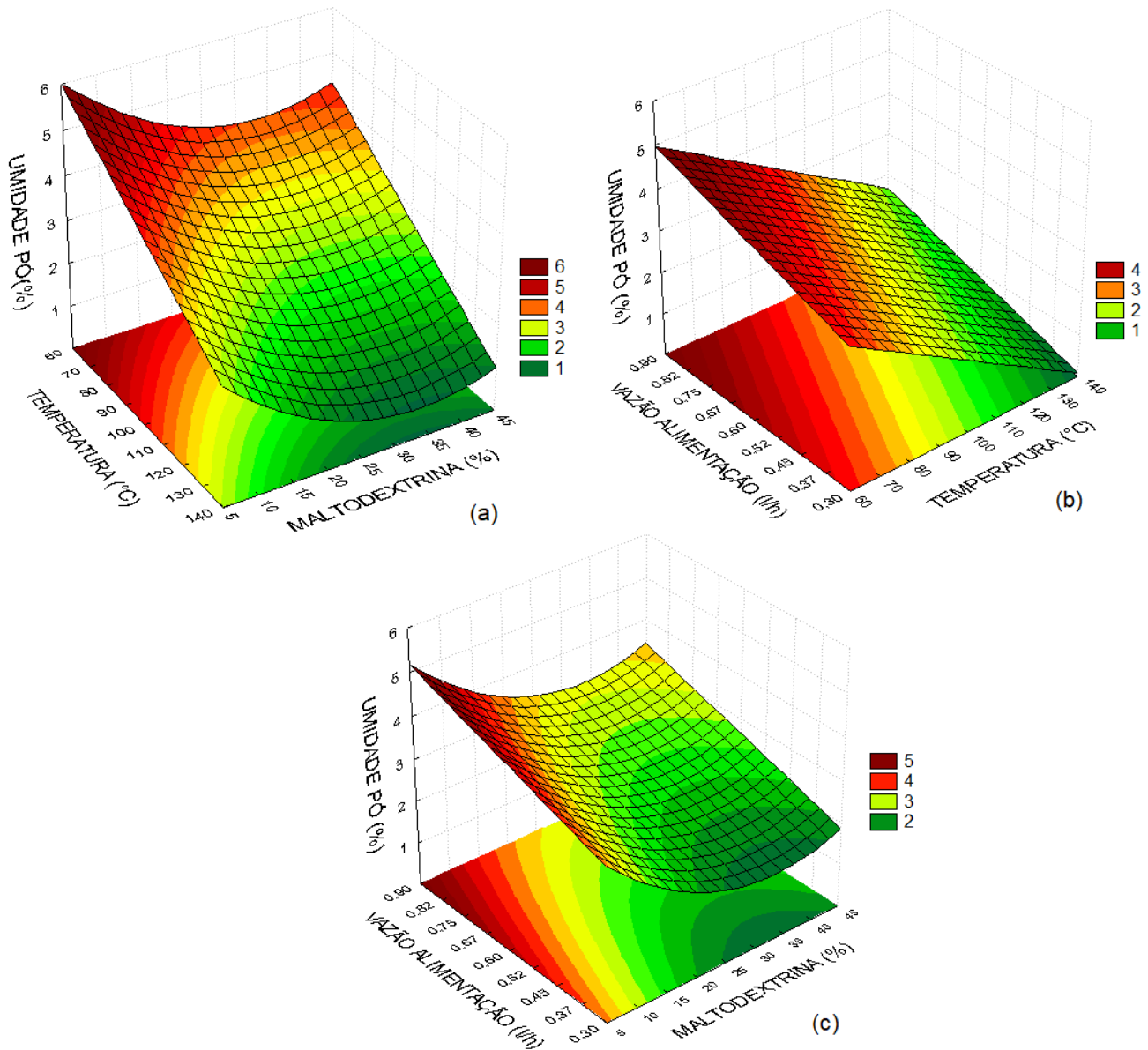
$$Umidade\ Pó = 2,52 - 0,83 \cdot x_1 - 0,43 \cdot x_3 + 0,25 \cdot x_3^2 + 0,39 \cdot x_4 \quad (8)$$

Na Figura 18 estão apresentadas as superfícies de respostas geradas de acordo com os resultados obtidos, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central. É possível verificar que os menores valores obtidos para Umidades do Pó foram encontrados em Temperaturas acima de 130°C (Figuras 18.a e 18.b), mostrando que o aumento da temperatura provoca uma maior transferência de calor devido ao gradiente de temperatura entre a gota e o ar de secagem fornecido para realizar a evaporação da água. Tonon et al. (2008) e Phisut (2012) confirmaram em seus trabalhos essa mesma tendência de diminuição da umidade com o aumento da temperatura.

De acordo com as Figuras 18.a e 18.c, a melhor faixa de concentração de maltodextrina e obtenção de pós com menores umidade é entre 25 e 40% e que abaixo dessa faixa, a umidade começa a aumentar. De acordo com os autores Quek, Chuk e Swedluno (2007), o aumento do percentual de maltodextrina produz pós com menores umidades devido ao aumento do teor de sólidos totais. Essa tendência também foi encontrada nos resultados de secagem de tamarindo por essa metodologia de secagem (Bhusari, Muzaffar, & Kumar, 2014).

Outro ponto observado foi que para vazão de alimentação abaixo de 0,4 L/h obteve-se pós com menores teores de umidade (Figura 18.c), o que condiz com o fato de uma menor taxa de alimentação permitir um maior contato do ar de secagem com as gotículas do material, levando a uma secagem mais eficiente. Por outro lado, a vazão do ar de secagem teve efeito significativo de forma quadrática. Tonon, Brabet e Hubinger (2009) e Silva et al. (2014), ao realizarem a secagem de açaí e umbu, respectivamente, também verificaram que menores vazões de alimentação geram pós com menores teores de umidade.

Figura 18 - Efeito das variáveis do PCC na Umidade do Pó obtido no *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Portanto, dentro das faixas experimentais que foram testadas, verificou-se que altas temperaturas, concentração de maltodextrina entre 25 e 40% e vazão de alimentação inferior a 0,4 L/h geraram os pós com os menores teores de umidade. A faixa de umidade dos pós obtidos na secagem em *spray dryer* variou entre 0,62 e 4,54%, conforme apresentado na Tabela 5, mostrando que o pó obtido em todas as condições estudadas são seguros em termos de atividade de água.

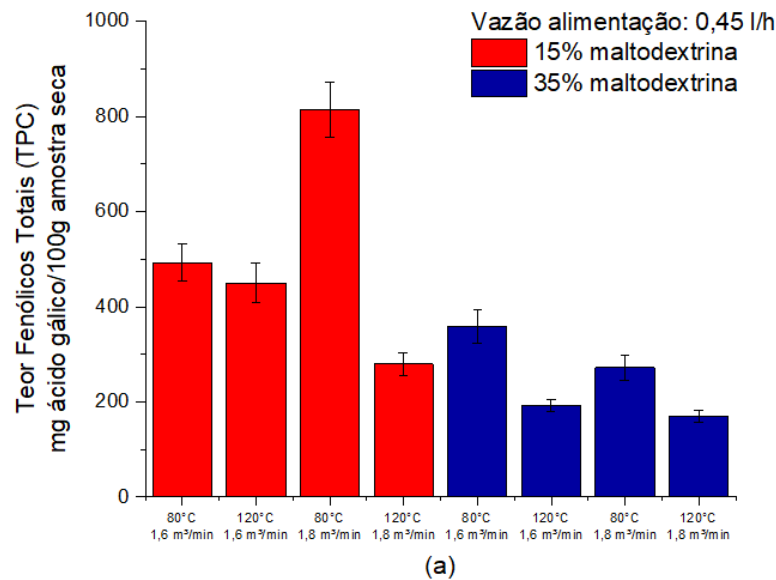
### 5.2.3 Compostos Bioativos

Os resultados obtidos das análises dos compostos bioativos da jabuticaba em *spray dryer* são representados nos tópicos a seguir. Para facilitar a compreensão dos resultados via gráficos de barra foi realizada a divisão dos experimentos em 3 blocos: (a) Experimentos 1 a 8 realizados na vazão de alimentação de 0,45 L/h, (b) Experimentos 9 a 16 realizados na vazão de alimentação de 0,75 L/h e (c) Experimentos 17 a 24 realizados nas condições extremas ( $\pm\alpha$ ). Os Experimentos 25 a 28 são referentes às réplicas no ponto central e serão apresentados no final das seções.

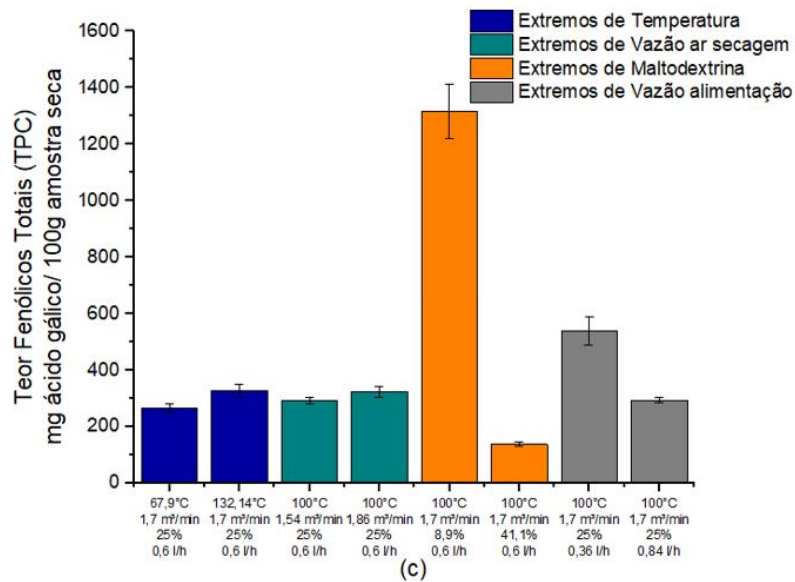
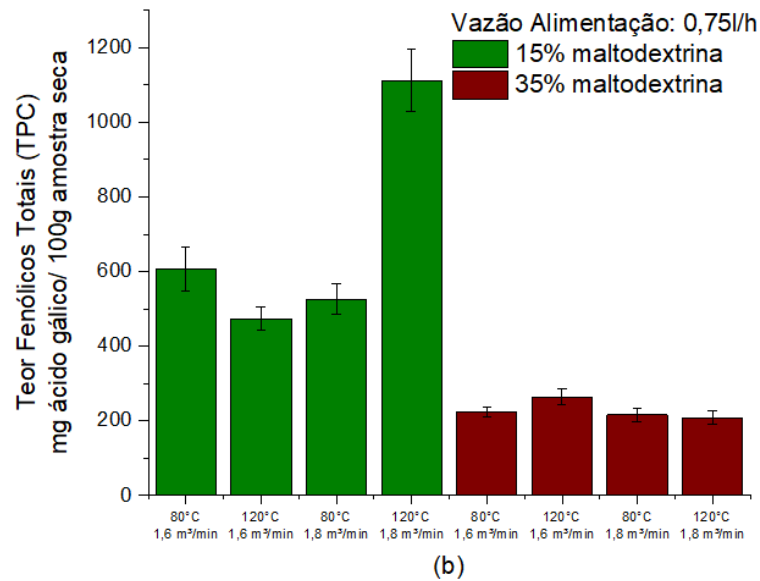
#### 5.2.3.1 Teor de Compostos Fenólicos (TPC)

Os resultados das análises do Teor de Fenólicos Totais (TPC) estão representadas na Figura 19. Os resultados obtidos permitiram observar que existem variações no TPC de acordo com as condições utilizadas em cada experimento.

Figura 19 - Resultados obtidos para o Teor de Fenólicos Totais (TPC) na secagem por *spray dryer* em função das variáveis independentes.







Fonte: Dados da pesquisa (2021).

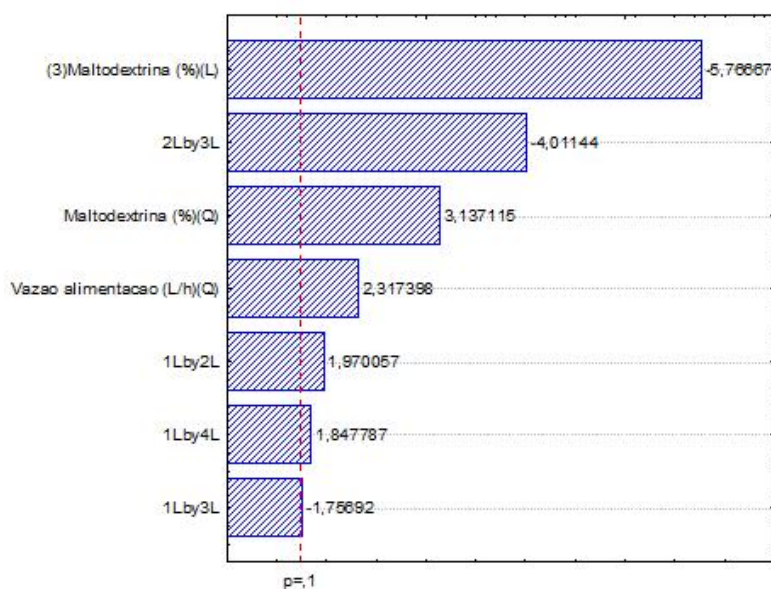
Ao realizar a comparação com o resultado obtido na análise *in natura* ( $9268,27 \pm 584,07$  mg de ácido gálico/100g de amostra seca), verificou-se um decréscimo de cerca de 85% no teor dos compostos fenólicos comparado ao maior resultado de compostos fenólicos obtido na secagem em *spray dryer* ( $1315,49 \pm 7,3$  mg de ácido gálico/100g de amostra seca). Tal queda pode ser justificada devido a dois fatores: (1) o acréscimo de maltodextrina ao material, que reduz consideravelmente o teor de bioativos no produto final e (2) a degradação dos compostos devido ao processo térmico envolvido na secagem. Segundo a classificação de Vasco (2008), valores inferiores a 100 mg de ácido gálico/100g de amostra seca são considerados baixos, valores intermediários são entre 200-500 mg /100g de amostra seca, e acima disso são

considerados altos. Assim, de acordo com essa classificação, pode-se afirmar que 11% dos experimentos apresentaram valores baixos de compostos fenólicos, 68% valores médios e 21% apresentavam valores altos.

O maior valor de TPC foi obtido nas condições de temperatura, vazão do ar de secagem e vazão de alimentação nos pontos intermediários (0) e a porcentagem de maltodextrina no ponto axial de menor valor ( $-\alpha$ ). Por outro lado, o menor valor de TPC encontrado (137,99 mg de ácido gálico/100g de amostra seca) foi realizado nas mesmas condições, porém com o percentual de maltodextrina no ponto axial de maior valor ( $+\alpha$ ). Diante disso, verifica-se que essa é uma das variáveis que possui maior impacto significativo na retenção dos compostos.

Para melhor entendimento do efeito das variáveis do PCC, foi realizada uma regressão múltipla para análise estatística dos dados. A partir do Gráfico de Pareto (Figura 20), é possível notar que realmente a variável concentração de maltodextrina apresentou o maior efeito significativo, de forma negativa, demonstrando que quanto maior a concentração desse agente carreador, menor o teor de compostos fenólicos nas amostras pós secagem.

Figura 20 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Teor de Compostos Fenólicos Totais.



Sendo: (1) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (2) Vazão do ar de secagem ( $\text{m}^3/\text{min}$ ), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

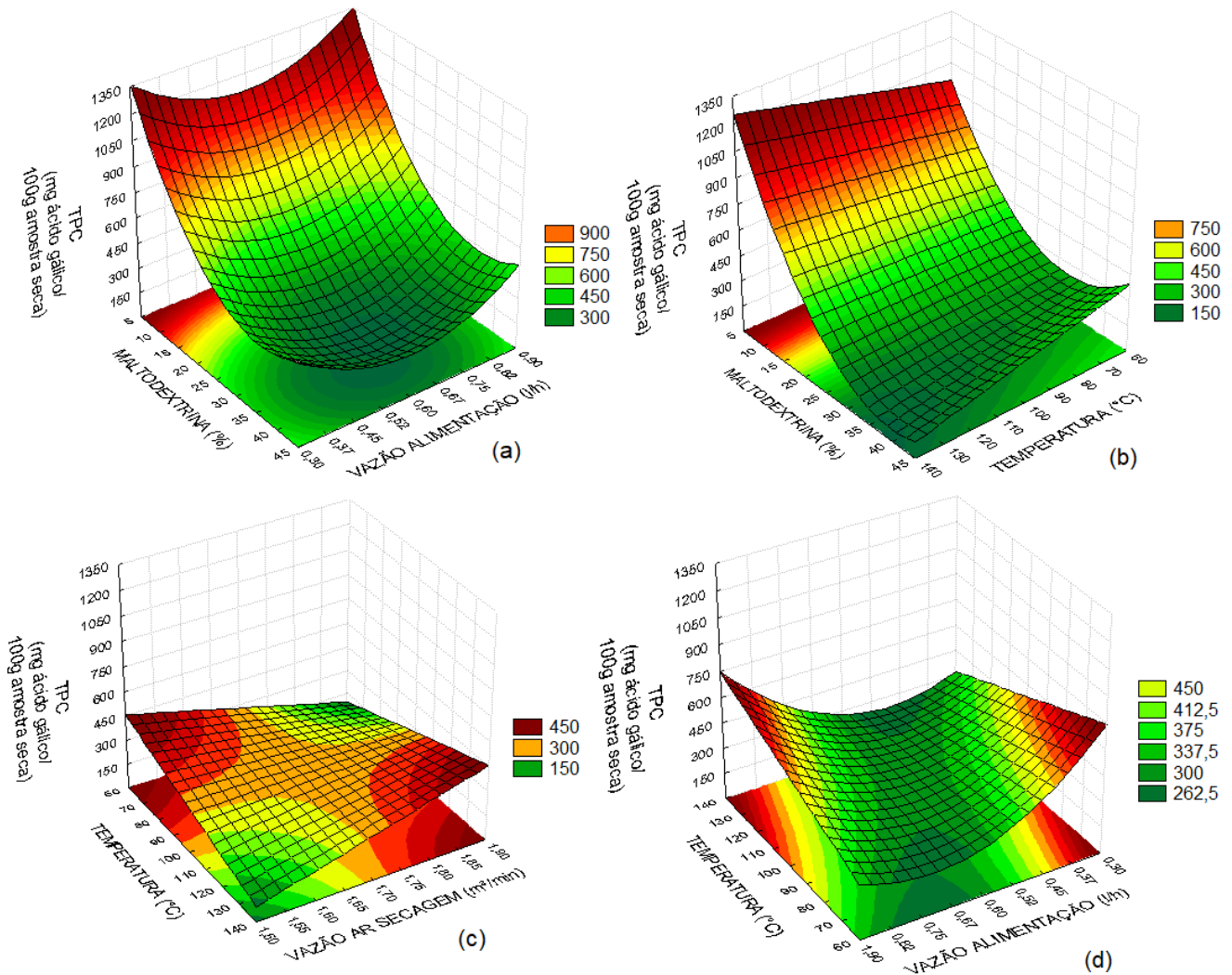
Assim, o Teor de Fenólicos Totais (TPC) pode ser expresso pela Equação 9 ( $R^2=0,8565$  e  $\alpha= 0,10$ ) sendo possível verificar que além da concentração de maltodextrina, todas as

variáveis avaliadas foram estatisticamente significativas nos resultados obtidos. As variáveis maltodextrina ( $x_3$ ) e vazão de alimentação ( $x_4$ ) foram significativas tanto de forma independente quanto combinada enquanto as variáveis temperatura ( $x_1$ ) e vazão do ar de secagem ( $x_2$ ) foram significativas somente de forma combinada.

$$TPC = 219,01 - 204,34 \cdot x_3 + 176,01 \cdot x_3^2 + 64,01 \cdot x_4^2 + 50,83 \cdot x_1 \cdot x_2 - 57,21 \cdot x_1 \cdot x_3 + 47,68 \cdot x_1 \cdot x_4 - 130,62 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (9)$$

Na Figura 21 estão apresentadas as superfícies de respostas geradas de acordo com os resultados obtidos, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central.

Figura 21 - Efeito das variáveis do PCC no Teor de Compostos Fenólicos Totais.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Constatou-se que os maiores Teores de Fenólicos Totais (TPC) foram encontrados em temperaturas acima de 110°C (Figura 21.b). De forma inversa, Kalajahi (2022) et al. verificaram que o teor de compostos fenólicos do extrato de urtiga foi reduzido quando a temperatura variou de 110 a 150°C devido à sensibilidade ao calor e à degradação desse composto em temperaturas elevadas.

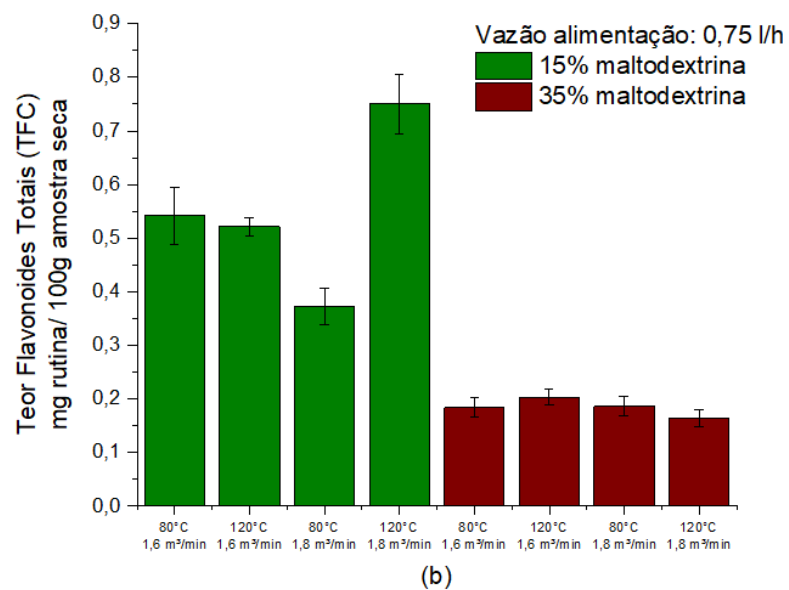
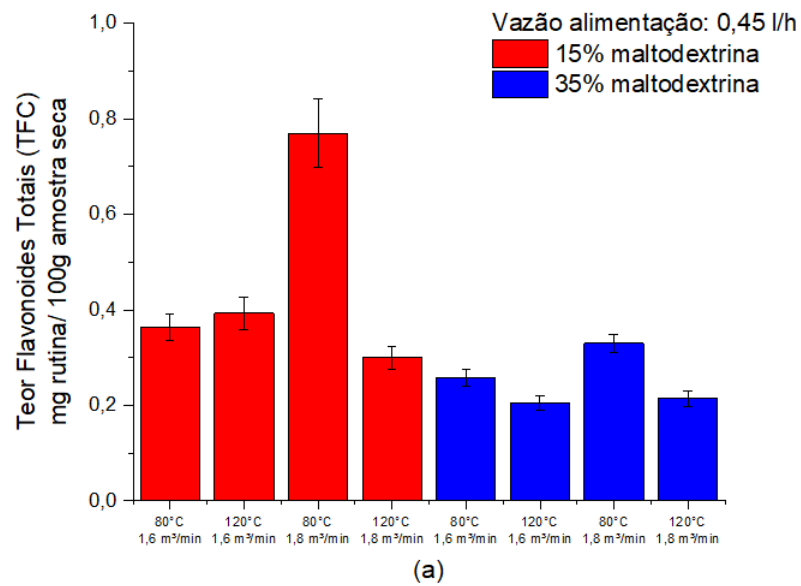
O percentual de Maltodextrina influenciou negativamente os Teores de Fenólicos Totais, sendo as maiores retenções de compostos encontradas em concentrações abaixo de 15% (Figuras 21.a e 21.b). Observou-se também que, dentro das faixas experimentais testadas, temperaturas acima de 110°C (Figuras 21.c e 21.d) e concentrações de maltodextrina menores que 20% (Figuras 21.a e 21.b) resultaram nos melhores resultados para obtenção de pós com maiores concentrações de compostos fenólicos. Em relação a vazão do ar secagem verifica-se na Figura 24.c que os melhores resultados são encontrados em vazões acima de 1,8 m<sup>3</sup>/min, assim o produto ficar menor tempo dentro da câmara e diminuição a degradação dos compostos. Já as menores vazões de alimentação (abaixo de 0,4 L/h) apresentaram maiores retenções desses compostos (Figura 21.d). Assim, temperatura e vazão do ar secagem elevados associadas com baixas concentrações de maltodextrina e vazões de alimentação permitem obter os melhores teores de compostos fenólicos.

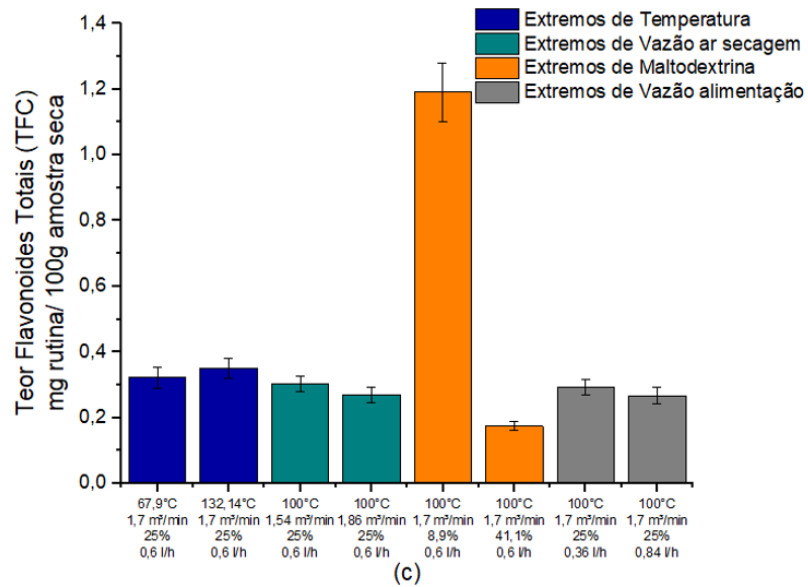
#### 5.2.3.2 Teor de Flavonoides Totais (TFC)

Os resultados das análises do Teor de Flavonoides Totais (TFC) estão representadas na Figura 22, onde foi possível notar variações de acordo com as condições adotadas em cada experimento.

Realizando a comparação dos valores de TFC das amostras obtidas em *spray dryer* com o resultado obtido na análise *in natura* (19,98 ± 2,83 mg de rutina/ 100g de amostra seca), verificou-se uma redução da ordem de 94% na quantidade de flavonoides comparativamente ao maior resultado obtido na secagem (1,19 ± 0,09 mg de rutina/ 100g de amostra seca), semelhante ao que foi observado para os compostos fenólicos. Mais uma vez, a presença da maltodextrina e a degradação ocasionada pelo processo térmico de secagem podem estar relacionadas a essa queda no TFC das amostras de jabuticaba pós secagem.

Figura 22 - Resultados obtidos para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) na secagem por *spray dryer* em função das variáveis independentes.



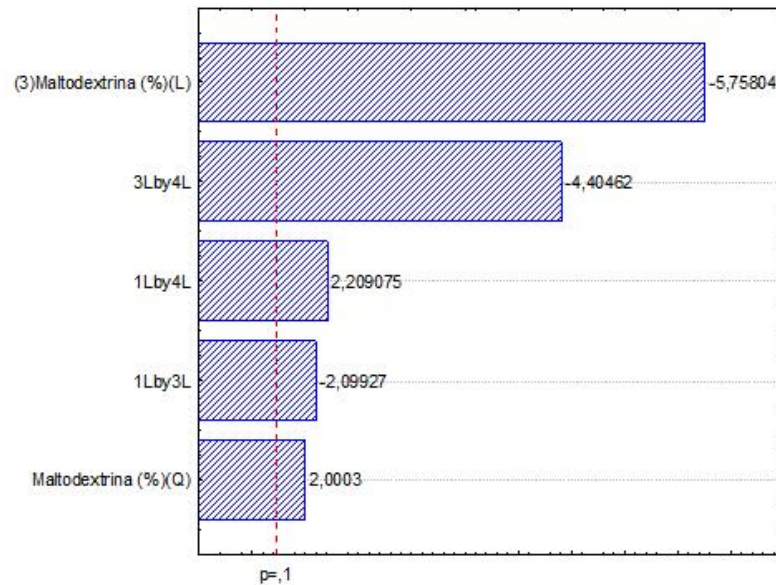


Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O maior valor de flavonoides encontrado (1,19 mg de rutina/ 100g de amostra em base seca) correspondeu a secagem com as variáveis temperatura, vazão do ar de secagem e vazão de alimentação nos pontos intermediários (0) e a % de maltodextrina no ponto axial (- $\alpha$ ). Por outro lado, o menor valor encontrado, 0,16 mg de rutina / 100g de amostra em base seca, foi obtido nas condições de temperatura, vazão do ar de secagem, % de maltodextrina e vazão de alimentação no nível (+1).

Analisando o Gráfico de Pareto (Figura 23) para o TFC, de forma similar ao observado para análise dos compostos fenólicos, evidenciou-se a influência do percentual da maltodextrina nos resultados obtidos, sendo que o aumento na concentração desse agente diminuiu consideravelmente a concentração de flavonoides. Esse resultado indica que a presença da maltodextrina (%) foi a variável com maior impacto, e negativo nos resultados, seguido pela interação dessa com a vazão de alimentação da polpa.

Figura 23 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Teor de Flavonoides Totais.



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m³/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Através da regressão dos resultados obtidos, o Teor de Flavonoides Totais (TFC) pode ser expresso pela Equação 10 ( $R^2=0,8367$  e  $\alpha= 0,10$ ), sendo verificado assim que todas as variáveis foram estatisticamente significativas. A variável concentração de maltodextrina ( $x_3$ ), foi significativa com seus efeitos isolado, quadrático e de interação com outras variáveis, enquanto as variáveis temperatura ( $x_1$ ) e vazão de alimentação ( $x_4$ ) foram significativas somente de forma combinada. Não houve efeito significativo para a variável vazão do ar de secagem ( $x_2$ ).

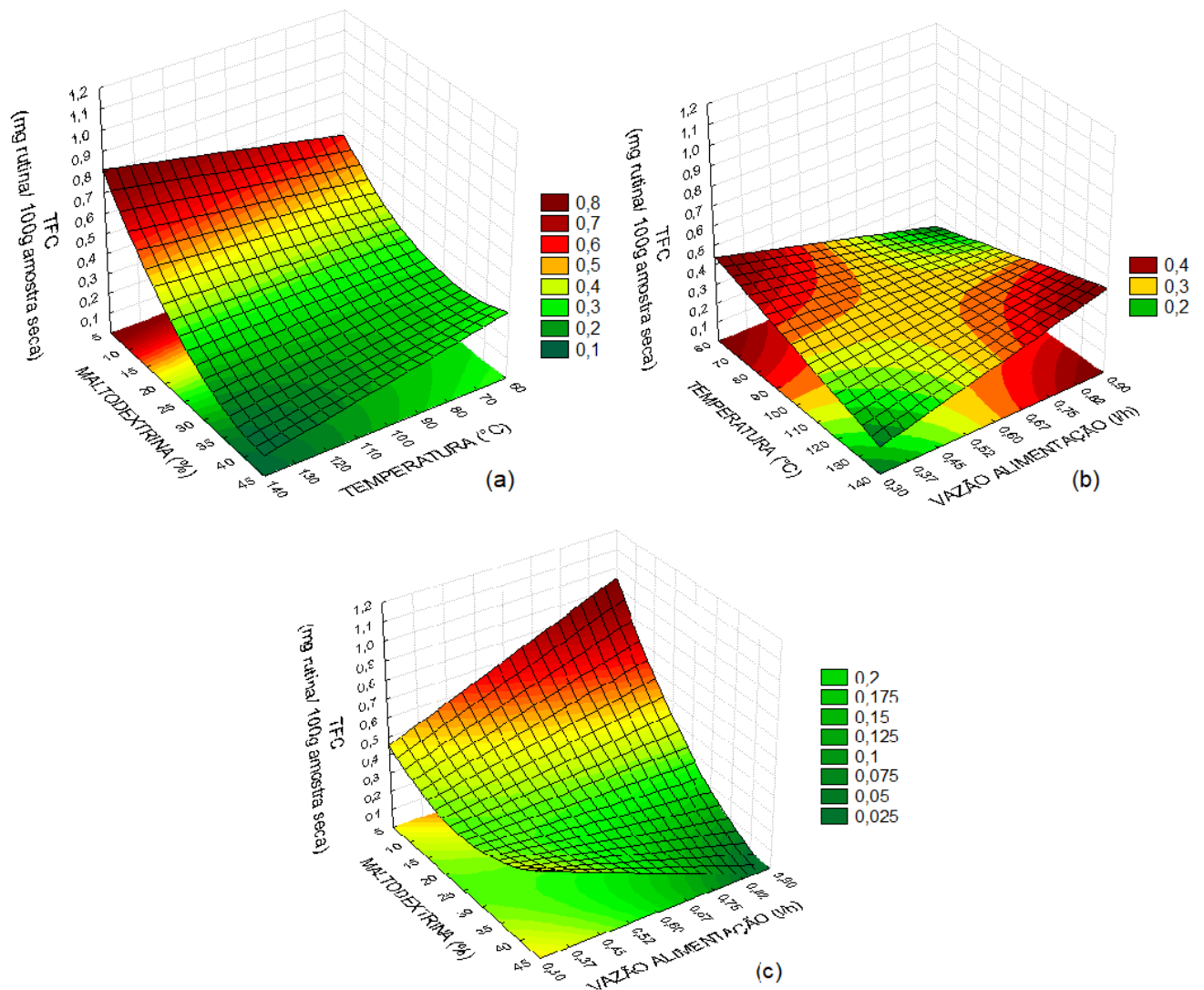
$$TFC = 0,2578 - 0,1234 \cdot x_3 + 0,0671 \cdot x_3^2 - 0,0411 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0343 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,0862 \cdot x_3 \cdot x_4 \quad (10)$$

Na Figura 24 estão apresentadas as superfícies de respostas geradas de acordo com os resultados obtidos, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central.

Além do comportamento já relatado devido ao percentual de maltodextrina, verificou-se que temperaturas mais altas foram favoráveis aos teores de flavonoides, desde que o teor de maltodextrina ou a vazão de alimentação sejam mínimos (Figuras 24.a e 24.b). Vazão de alimentação alta, geralmente é prejudicial ao rendimento do processo, só é positiva ao resultado se o teor de maltodextrina for baixo, o que implicaria um material mais pegajoso e, logo, com

baixa produção de pó (Figura 24.c). Não se constatou influência significativa da vazão do ar de secagem no teor de flavonoides no presente estudo, semelhante ao observado para os compostos fenólicos.

Figura 24 - Efeito das variáveis do PCC no Teor de Flavonoides Totais (TFC).



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

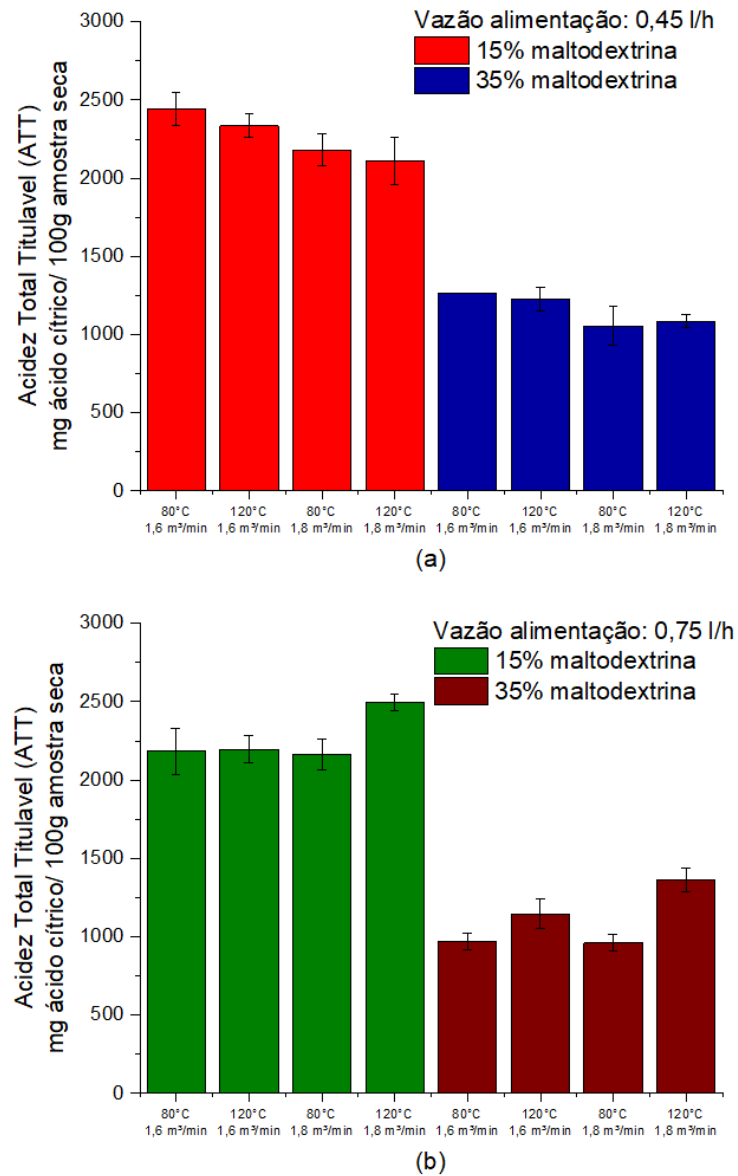
Diante do exposto, verificou-se que o teor de maltodextrina impacta negativamente a presença dos compostos flavonoides nas amostras, e que combinações específicas de certas variáveis poderiam levar a um aumento dos mesmos.

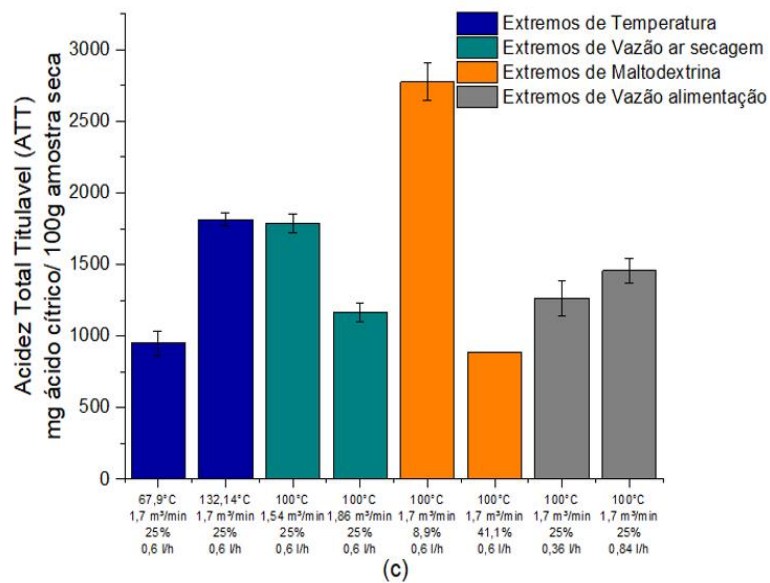


### 5.2.3.3 Acidez Total Titulável (ATT)

Os resultados das análises de Acidez Total Titulável (ATT) estão representadas na Figura 25.

Figura 25 - Resultados obtidos para o Acidez Total Titulável (ATT) na secagem em spray dryer em função das variáveis independentes.



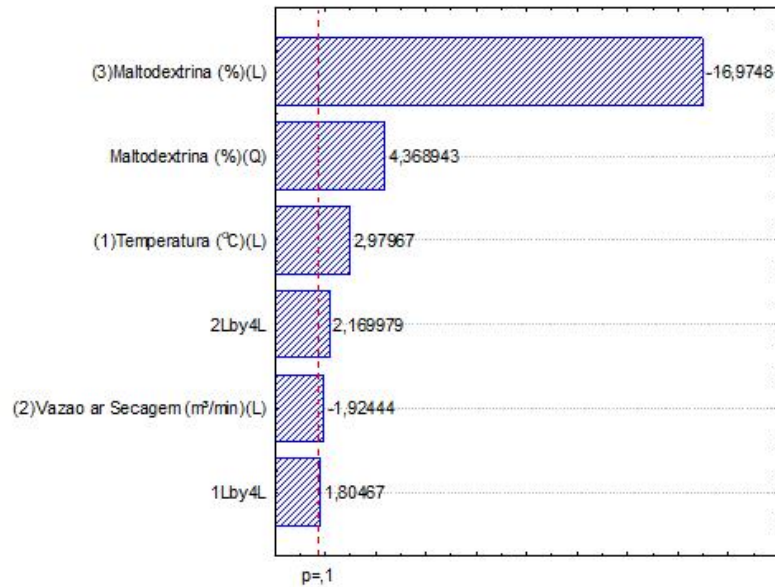


(c)  
Dados da pesquisa (2021).

Ao realizar a comparação da ATT com o obtido para a jabuticaba *in natura* ( $8285,93 \pm 594,04$  mg de ácido cítrico/ 100g de amostra seca), observa-se mais uma vez o decréscimo considerável em relação ao maior resultado obtido para essa variável-resposta após a secagem ( $2773,69 \pm 4,71$  mg de ácido cítrico/ 100g de amostra seca) – uma redução de 67% na ATT das amostras. Constatou-se ainda que o maior valor de acidez encontrado na secagem foi obtido nas condições de temperatura, vazão do ar de secagem e vazão de alimentação nos pontos intermediários (0) e concentração de maltodextrina no ponto axial de menor valor ( $-\alpha$ ). Por outro lado, o menor valor encontrado foi realizado nas condições inversas.

Analisando-se o Gráfico de Pareto para a acidez (Figura 26), pôde ser verificada mais uma vez a influência negativa com a adição de maltodextrina nos experimentos, o qual demonstra que a variável maltodextrina, na forma linear, é a que possui o maior efeito significativo e atua de forma negativa nos resultados obtidos.

Figura 26 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Acidez.



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m³/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

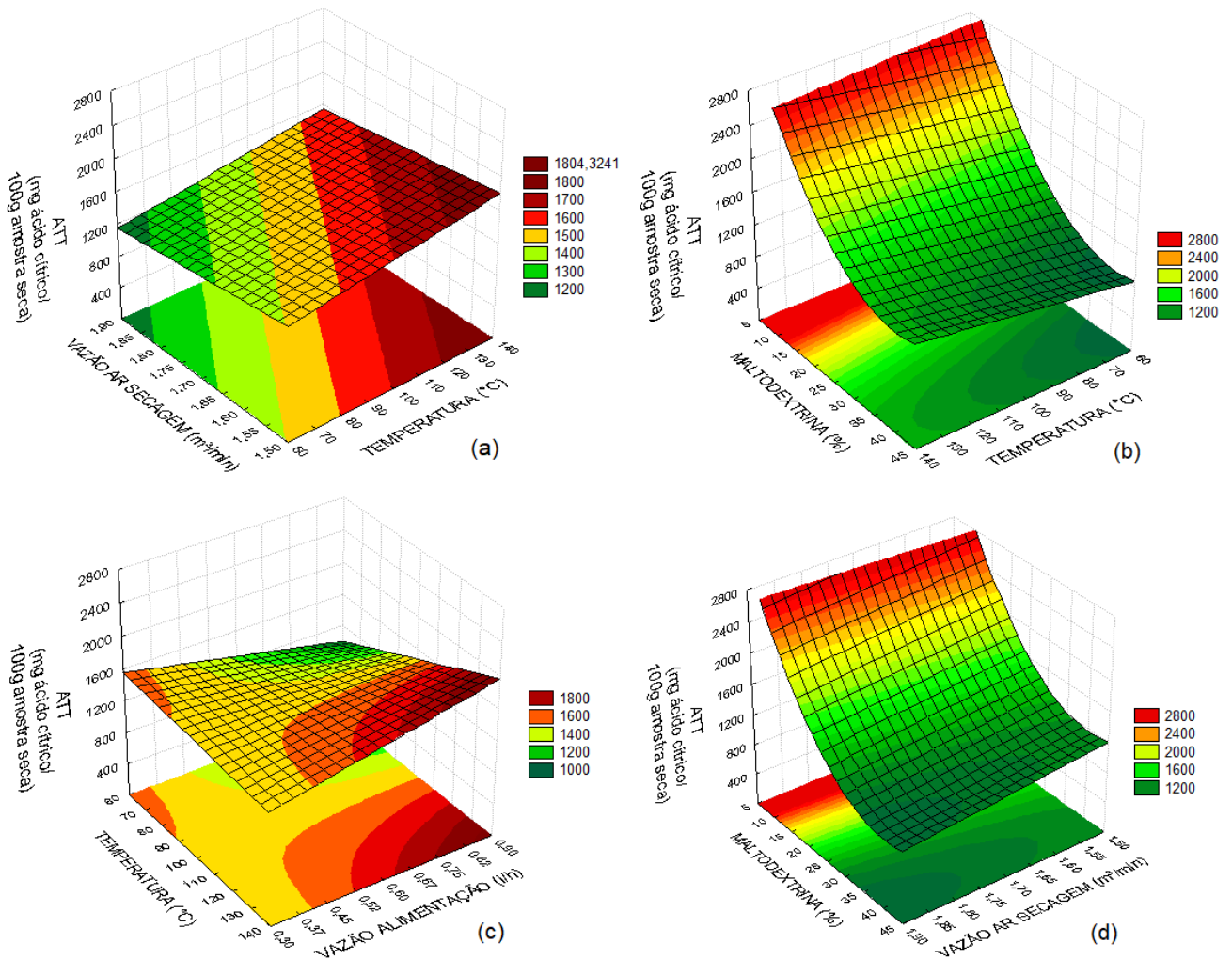
Através da regressão dos resultados obtidos, obtém-se a Equação 11 ( $R^2=0,9398$  e  $\alpha=0,10$ ), a qual permite observar que todas as variáveis avaliadas foram estatisticamente significativas nos resultados de ATT. As variáveis temperatura ( $x_1$ ), vazão do ar de secagem ( $x_2$ ), % de maltodextrina ( $x_3$ ), na forma linear e quadrática, foram significativas de forma independente. A variável vazão de alimentação ( $x_4$ ), no entanto, foi significativa somente de forma combinada.

$$ATT = 1475,18 + 99,99 \cdot x_1 - 64,58 \cdot x_2 - 569,64 \cdot x_3 + 184,65 \cdot x_3^2 + 69,63 \cdot x_1 \cdot x_4 + 83,76 \cdot x_2 \cdot x_4 \quad (11)$$

Na Figura 27 são apresentadas as superfícies de respostas geradas de acordo com os resultados obtidos, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central. É possível constatar, como comentado anteriormente, que os maiores teores de Acidez (ATT) foram observados nos experimentos com teores de maltodextrina inferiores a 15% (Figuras 27.b e 27.d). A mesma tendência foi verificada por Costa (2014) ao analisar o pó da polpa de graviola seca em *spray dryer*. Assim como nesse estudo, o autor obteve uma relação inversa entre a concentração de maltodextrina e a acidez. Em termos de temperatura, valores altos da mesma foram favoráveis para o teor de ácido cítrico, desde que a vazão de alimentação seja elevada ou

a vazão de ar de secagem seja mínima (Figuras 27.a e 27.c), comportamento diferente do observado para os compostos fenólicos e flavonoides.

Figura 27 - Efeito das variáveis do PCC na Acidez Total Titulável (ATT).



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

#### 5.2.3.4 Teor de Ácido Ascórbico (AA)

A secagem por atomização geralmente leva a uma degradação dos teores de ácido ascórbico das amostras. Galvão (2016), verificou uma diminuição significativa do teor de vitamina C ao realizar a secagem da cajuína, sendo que o teor de ácido ascórbico foi de  $171,74 \pm 0,30$  mg de ácido ascórbico/ 100g de amostra seca, na polpa *in natura*, e de  $8,18 \pm 0,59$  mg de ácido ascórbico/ 100g de amostra seca no pó obtido. Resultado semelhante foi obtido por

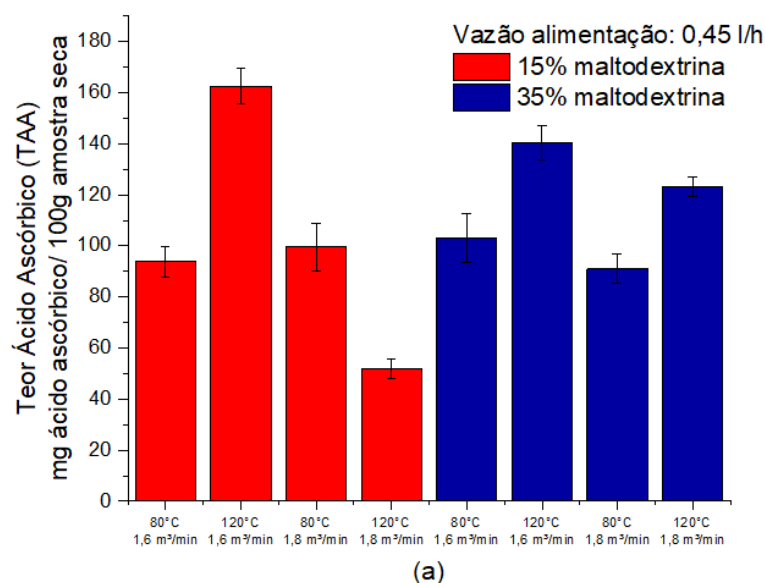
Santos (2015) que também verificou degradação e conseqüente diminuição do teor de vitamina C após secagem por atomização da polpa cagaita.

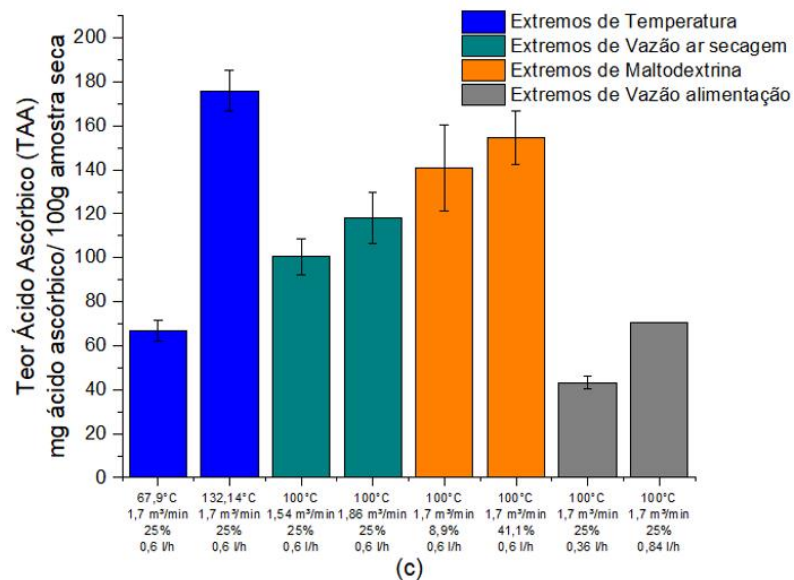
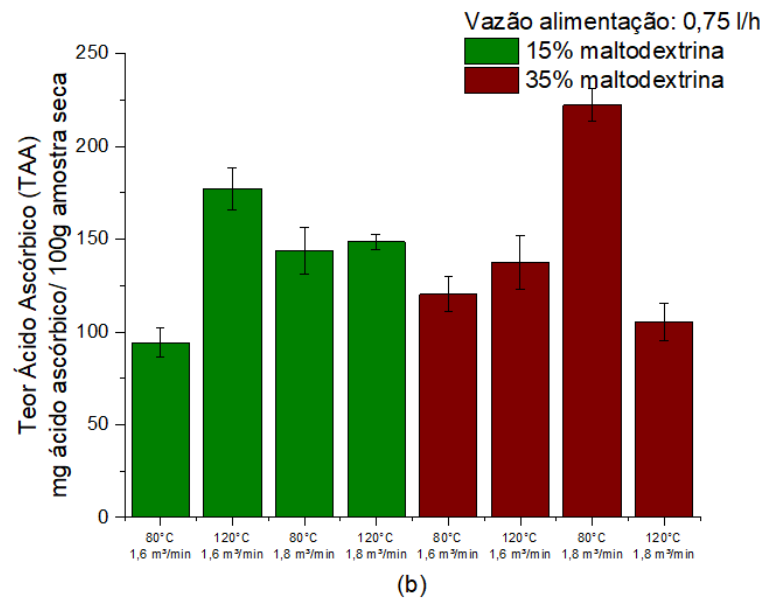
Os resultados obtidos para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) da jabuticaba após secagem em *spray dryer* são apresentados na Figura 28. Pela análise dos valores de TAA, verificou-se que os mesmos variaram de 43,13 a 222,46 mg de ácido ascórbico/ 100g de amostra seca, indicando grande impacto das variáveis operacionais nos resultados obtidos. Em relação ao resultado obtido na análise *in natura* (239,43± 16,86 mg de ácido cítrico/ 100g de amostra seca), observa-se que o produto seco, obtido nas melhores condições de secagem, apresentou concentração bastante próxima a do material *in natura*, mesmo com a presença da maltodextrina, o que pode ser explicado pela concentração dos nutrientes no produto seco após o processo de secagem.

O maior valor de teor de vitamina C observado no produto seco ocorreu nas condições de Temperatura no nível (-1) e as demais variáveis no nível (+1). Quanto ao menor resultado (43,13 mg de ácido ascórbico/ 100g de amostra seca), esse foi obtido adotando-se vazão de alimentação no nível (+ $\alpha$ ) e as variáveis no nível intermediário (0).

Destaca-se que o teor de AA obtido está dentro da recomendação de ingestão diária de Vitamina C sugerida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que é de 45 mg/dia (BRASIL, 2005).

Figura 28 - Resultados obtidos para o Teor de Ácido Ascórbico (TAA) na secagem por *spray dryer* em função das variáveis independentes.

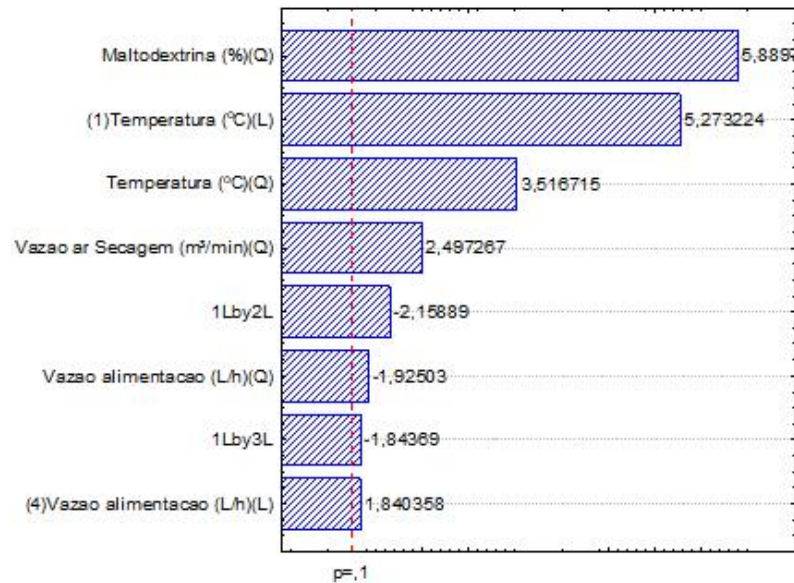




Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O Gráfico de Pareto mostrado na Figura 29 demonstra que todas as variáveis estudadas foram significativas nos resultados de TAA obtidos. As variáveis concentração de maltodextrina e temperatura do ar de secagem foram as que mais impactaram o teor de AA, sendo esse impacto positivo, ou seja, quanto maiores os valores de maltodextrina (%) e temperatura (°C), maiores as concentrações de ácido ascórbico. Tal resultado difere do observado para os demais compostos bioativos, nos quais verificou-se que o aumento das % do agente carreador prejudicou a composição final de compostos da amostra. Por ter um efeito de protetor térmico, é provável que a maltodextrina tenha favorecido e protegido as moléculas de ácido ascórbico presentes na amostra, favorecendo sua manutenção após a secagem.

Figura 29 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta Teor de Ácido Ascórbico.



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m³/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

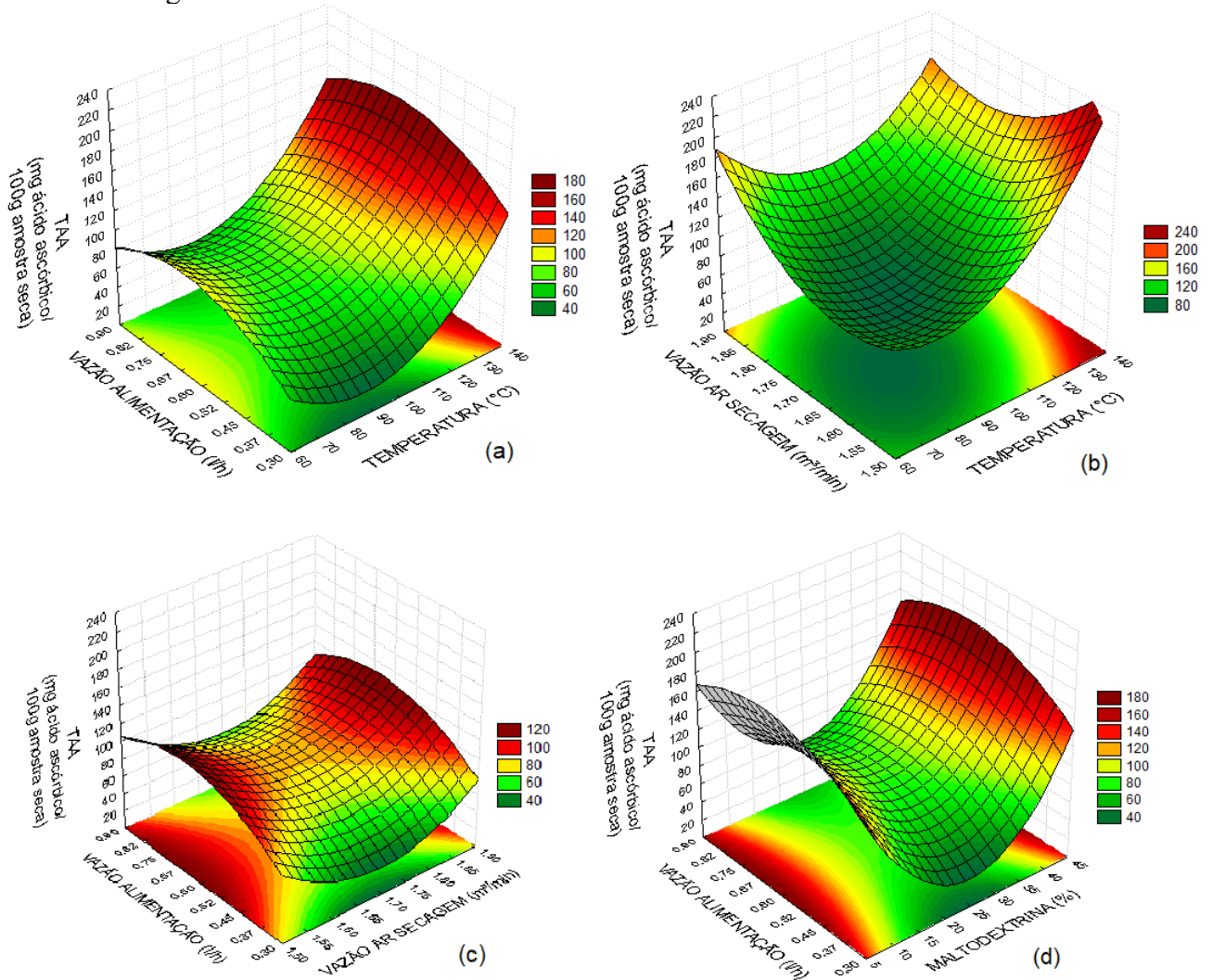
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Moreira et al. (2010) observaram que o aumento da temperatura de entrada prejudicou a retenção de Vitamina C, sendo que temperaturas mais baixas e maiores percentuais de adjuvante ocasionaram maiores retenções desse composto. Em contraste, no presente estudo, os maiores teores de Ácido Ascórbico (TAA) foram encontrados em temperaturas superiores a 120°C. Ademais, semelhantemente ao observado nesse estudo, Rodríguez-Hernández et al. (2005) e Igual et al. (2014) observaram maiores retenções de Vitamina C em experimentos com maiores concentrações de maltodextrina ao secarem o suco figo-da-índia e polpa de lulo.

A regressão dos resultados obtidos permite expressar o Teor de Ácido Ascórbico (AA) através da Equação 12 ( $R^2=0,8542$  e  $\alpha=0,10$ ), expressa nas superfícies de resposta da Figura 30, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central.

$$TAA = 79,74 + 20,37.x_1 + 16,13.x_1^2 + 11,45.x_2^2 + 27,01.x_3^2 + 7,11.x_4 - 8,83.x^2 - 9,78.x^1.x^2 - 8,28.x^1.x^3 \quad (12)$$

Figura 30 - Efeito das variáveis do PCC no Teor de Ácido Ascórbico.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Enquanto maiores temperaturas levaram a maiores teores de vitamina C (Figuras 30.a e 30.b), é interessante observar que a faixa entre 16 e 41% de maltodextrina contribuiu para teores mais baixos de AA, sendo que os teores abaixo ou acima dessa faixa resultaram em aumento no teor desse composto (Figura 30.d). A variável vazão do ar secagem teve baixa influência nos resultados obtidos para essa variável-resposta (Figuras 30.b e 30.c), enquanto maiores valores de vazão de alimentação favoreceram levemente os teores desse composto (Figura 30.c).

Sendo assim, pode-se afirmar que a combinação de temperaturas superiores a 120°C e percentuais de maltodextrina abaixo de 10% ou acima de 40% são as condições ótimas para obtenção de maiores valores desse composto bioativo.



Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos nos experimentos realizados no ponto central, na qual é possível verificar a repetibilidade dos resultados com as réplicas realizadas.

Tabela 7 - Resultados experimentos realizados no ponto central para os compostos bioativos.

Experimentos	TPC	TFC	ATT	TAA
PC1	202,39 ± 15,20	0,30 ± 0,02	1468,59 ± 0,00	67,63 ± 7,56
PC2	222,06 ± 20,18	0,28 ± 0,02	1500,99 ± 61,28	73,26 ± 6,92
PC3	257,59 ± 24,78	0,26 ± 0,01	1562,15 ± 76,20	82,36 ± 3,92
PC4	285,13 ± 17,86	0,21 ± 0,02	1404,05 ± 15,00	95,71 ± 0,00

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

#### 5.2.4 Cor

Além dos teores de compostos bioativos, a cor das amostras pós-secagem em *spray dryer* também foi avaliada. Foi possível verificar, visualmente, que os pós obtidos apresentaram coloração variando entre o tom de rosa claro a rosa escuro, conforme apresentado na Figura 31 em que os experimentos estão representados de forma sequencial no sentido horizontal.

Figura 31 – Cor dos pós obtidos no *spray dryer*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os resultados obtidos nas análises da coloração instrumental dos pós obtidos são apresentados na Tabela 8. Verificou-se que a luminosidade (L\*) variou de 27,38 a 36,81, o parâmetro a\* (vermelho/verde) foi de 5,12 a 11,30 e o parâmetro b\*(amarelo/azul) oscilou de 1,03 a 2,94. Gurak et al. (2014), ao realizar o estudo da jabuticaba liofilizada, encontrou valores similares de L\*= 32,02, a\*=27,69 e b\*=7,47.

Tabela 8 - Resultados do PCC para as variáveis Cor (L\*, a\*, b\*).

Experimentos	x1	x2	x3	x4	L*	a*	b*
	Temperatura (°C)	Vazão do ar de secagem (m <sup>3</sup> /min)	% Maltodextrina	Vazão de alimentação (L/h)			
1	800	1,6	15%	0,45	28,57	7,12	2,82
2	120	1,6	15%	0,45	30,89	8,61	2,06
3	80	1,8	15%	0,45	27,38	9,29	1,97
4	120	1,8	15%	0,45	29,13	6,26	2,94
5	800	1,6	35%	0,45	36,81	6,38	1,22
6	120	1,6	35%	0,45	32,67	7,37	1,66
7	80	1,8	35%	0,45	29,84	6,43	1,69
8	120	1,8	35%	0,45	33,68	7,19	2,10
9	80	1,6	15%	0,75	32,45	8,11	1,51
10	120	1,6	15%	0,75	31,19	8,71	1,55
11	80	1,8	15%	0,75	30,25	8,80	1,65
12	120	1,8	15%	0,75	27,48	11,30	2,19
13	80	1,6	35%	0,75	31,25	8,12	1,60
14	120	1,6	35%	0,75	31,39	7,10	1,53
15	80	1,8	35%	0,75	34,60	6,03	1,03
16	120	1,8	35%	0,75	32,70	6,17	1,28
17	67,9	1,7	25%	0,7	31,39	7,85	1,14
18	132,1	1,7	25%	0,6	31,64	7,95	2,05
19	100	1,54	25%	0,6	32,30	7,13	1,64

20	100	1,86	25%	0,6	29,16	7,69	1,97
21	100	1,7	8,9%	0,6	30,29	7,01	2,88
22	100	1,7	41,1%	0,6	34,48	5,96	1,32
23	100	1,7	25%	0,36	29,11	8,72	1,77
24	100	1,7	25%	0,84	28,73	8,88	1,53
25	100	1,7	25%	0,6	31,06	6,96	1,35
26	100	1,7	25%	0,6	31,47	5,12	2,51
27	100	1,7	25%	0,6	31,83	6,94	2,45
28	100	1,7	25%	0,6	32,19	7,59	1,62

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

De modo geral, os pós com maiores percentuais de maltodextrina apresentaram coloração mais clara, ou seja, houve maior luminosidade devido aos cristais brancos encontrados neste agente carreador e que agora compõem as amostras. Além disso, menores temperaturas também contribuíram para obtenção de pós com maior luminosidade. No entanto, experimentos com maiores temperaturas resultaram na obtenção de pós com coloração rosa mais escuro.

#### 5.2.4.1 Parâmetro $L^*$

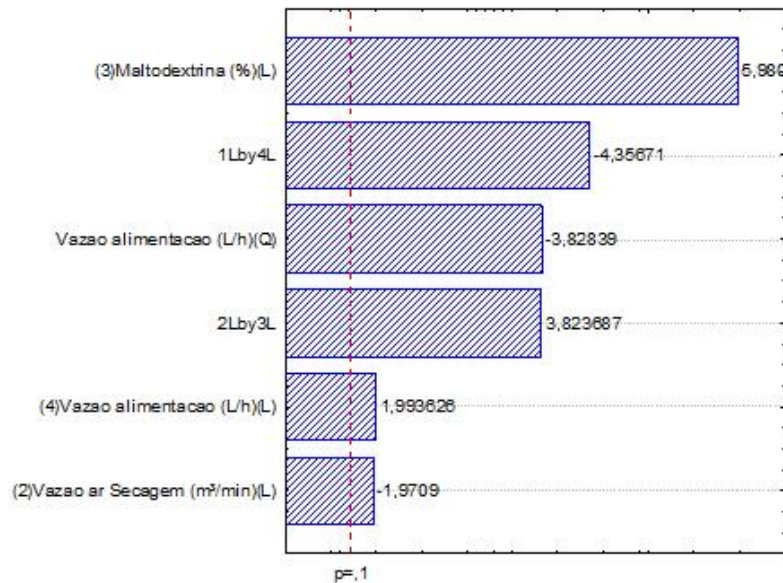
Avaliando o efeito de cada parâmetro da análise de cor, em termos do parâmetro  $L^*$ , ao realizar a comparação com o resultado obtido na análise in natura ( $17,16 \pm 0,67$ ), verificou-se que secagem resultou em pós com maiores valores (27,38 a 36,81) de luminosidade. As amostras após as secagens apresentaram um aspecto mais claro quando comparado a polpa (com coloração roxa) notado aumento na luminosidade ( $L^*$ ).

O maior valor encontrado para  $L^*$  foi de 36,81 e ocorreu no experimento realizado nas condições de temperatura e vazão de alimentação no nível (-1), Vazão do ar de Secagem no nível intermediário (0) e percentual de maltodextrina no nível (+1). Logo, sugere-se que a maior luminosidade obtida pode ter sido causada pela maior concentração do agente carreador, além de condições de baixa temperatura e alimentação mais lenta. Por outro lado, o menor valor

encontrado foi de 27,38 e foi obtido nas condições experimentais de temperatura, % de maltodextrina e vazão de alimentação no nível (-1) e vazão do ar de secagem no nível +1.

A partir de Gráfico de Pareto (Figura 32) do parâmetro  $L^*$ , constata-se que a concentração de maltodextrina foi a que mais gerou influência positiva nos resultados obtidos. Contudo, a interação das variáveis temperatura e vazão de alimentação tiveram o maior impacto negativo, causando redução dos valores de  $L^*$ .

Figura 32 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta de luminosidade ( $L^*$ ).



Sendo: (1) Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (2) Vazão do ar de secagem ( $\text{m}^3/\text{min}$ ), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

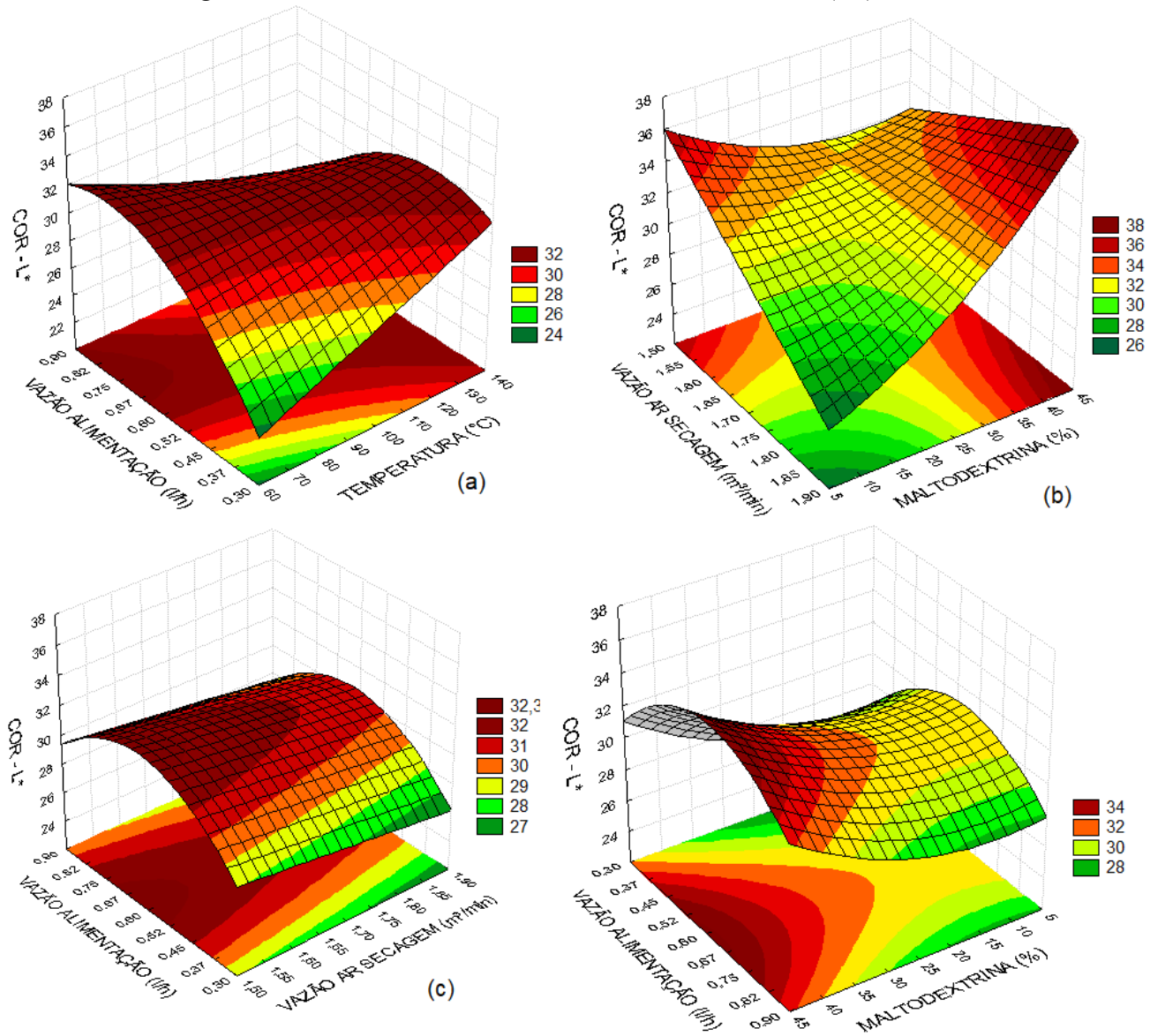
O parâmetro  $L^*$ , através da regressão dos resultados obtidos, pôde ser expresso pela Equação 13 ( $R^2=0,8837$  e  $\alpha=0,10$ ), sendo possível verificar que as variáveis vazão do ar de secagem ( $x_2$ ), % maltodextrina ( $x_3$ ) e vazão alimentação ( $x_4$ ) foram estatisticamente significativas de forma independente, enquanto a variável temperatura ( $x_1$ ) foi significativa de forma combinada.

$$L^* = 31,40 - 0,48 \cdot x_2^2 + 1,10 \cdot x_3 + 0,43 \cdot x_3^2 + 0,32 \cdot x_4 - 0,91 \cdot x_4^2 + 0,43 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,91 \cdot x_1 \cdot x_4 + 1,03 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (13)$$

As superfícies de resposta estão apresentadas na Figura 33, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central. É possível verificar que o intervalo para vazão de

alimentação entre 0,5 e 0,8 L/h conduziu a pós com maiores luminosidades (Figuras 33.a e 33.c), assim como maiores percentuais de maltodextrina acima de 35% (Figuras 33.b e 33.d).

Figura 33 - Efeito das variáveis do PCC na luminosidade ( $L^*$ ).



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Tonon (2009), ao realizar a secagem da polpa de açaí em *spray dryer*, destacou que a obtenção de um pó mais claro pode ter resultado da adição de agente carregador. Resultados semelhantes foram obtidos por Ferrari et al. (2012), os quais também obtiveram pós mais claros ao realizar a secagem da amora-preta com adição de 25% de maltodextrina. De acordo com Ferrari (2012), a adição de maltodextrina resulta em pós com maiores luminosidades devido a coloração branca adicionada que dilui os pigmentos do fruto.

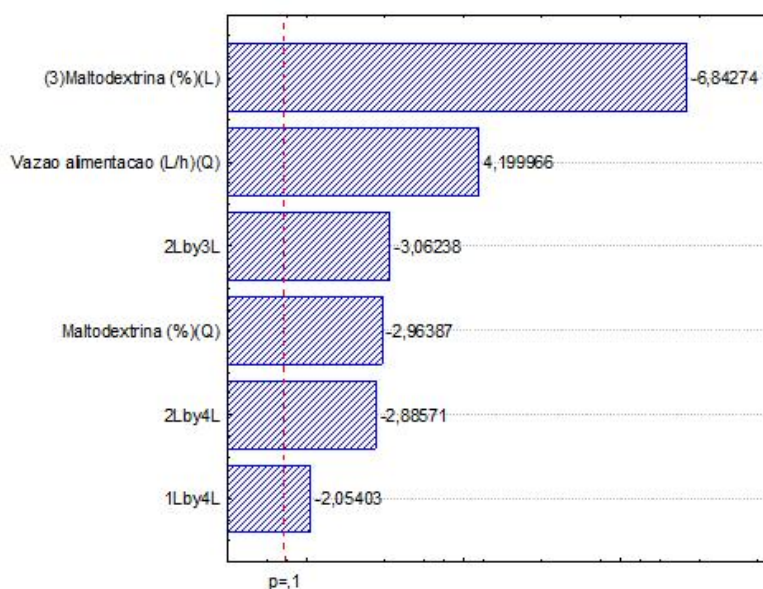
Tonon (2009) encontrou pós com alta luminosidade influenciados pela temperatura aplicada na secagem. O autor constatou que temperaturas mais elevadas diminuíram a luminosidade e sugeriu que esse resultado pode estar relacionado a concentração de produtos e escurecimento devido à maior retirada de água. Isso também pode ser verificado através da Figura 33.a, que mostra os menores valores situados em temperaturas inferiores a 100°C.

#### 5.2.4.2 Parâmetro $a^*$

Enquanto para a amostra *in natura* o valor do parâmetro  $a^*$  foi de  $5,69 \pm 1,16$ , o maior valor encontrado desse parâmetro após a secagem em *spray dryer* foi de 11,30, constando-se um incremento na intensidade da cor vermelha das amostras. Tal condição ocorreu no experimento em que temperatura, vazão do ar de secagem e vazão de alimentação estavam no nível (+1) e % de maltodextrina no nível (-1). Em contraste, o menor valor de 5,12 foi observada para as variáveis nos níveis intermediários (0), conforme pode ser verificado na Tabela 8.

Observando o Gráfico de Pareto (Figura 34), é possível verificar, mais uma vez, o maior efeito causado pela variável maltodextrina, com sua influência negativa sobre esse parâmetro de cor.

Figura 34 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta de  $a^*$ .



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m<sup>3</sup>/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O segundo maior efeito foi causado pela variável vazão de alimentação com impacto positivo de forma linear, ou seja, quanto maior a vazão de alimentação na forma linear e menores os teores de maltodextrina, maiores os valores encontrados para  $a^*$ , isto é, maiores tendências à coloração vermelha (Figura 34).

O parâmetro  $a^*$  pode ser expresso pela Equação 14 ( $R^2=0,8319$  e  $\alpha=0,10$ ) e superfícies de resposta da Figura 35, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central, na qual foi possível verificar que as variáveis % Maltodextrina ( $x_3$ ) e Vazão Alimentação ( $x_4$ ) foram estatisticamente significativas, de forma independente. Além disso, observou-se que as variáveis Temperatura ( $x_1$ ) e Vazão ar Secagem ( $x_2$ ) foram significativas de forma combinada.

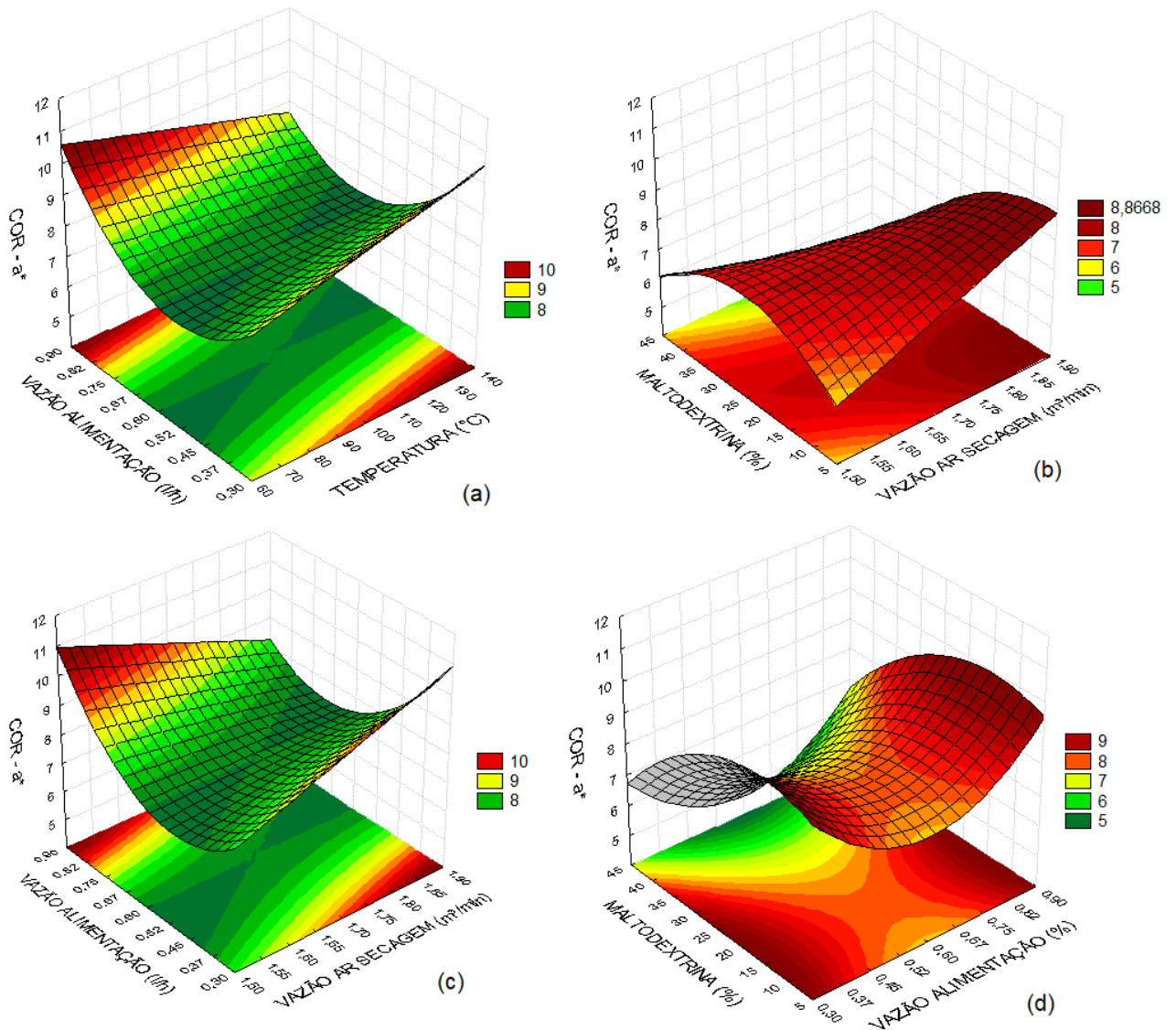
$$a^* = 7,50 - 0,70 \cdot x_3 - 0,37 \cdot x_3^2 + 0,53 \cdot x_4^2 - 0,24 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,36 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,34 \cdot x_2 \cdot x_4 \quad (14)$$

Essa tendência do efeito negativo da maltodextrina no parâmetro  $a^*$  também foi verificada por Wong et al. (2017) ao realizar a secagem da banana. Os autores observaram que o parâmetro diminuiu de forma significativa com o aumento da concentração de maltodextrina e temperatura de entrada do secador.

Ferrari (2012) verificou que a temperatura apresentou efeito significativo na redução da  $a^*$  apenas nos experimentos com maiores concentrações de maltodextrina (25%). Sousa et al. (2014), ao realizar a secagem de bebida mista de polpa de manga e soro lácteo, verificou uma diminuição no parâmetro  $a^*$  ao realizar um aumento na temperatura de 150 a 186°C. No presente estudo não foi verificada um efeito tão significativo da variável temperatura no parâmetro  $a^*$  (Figura 35.a).

Portanto, diante do exposto, verificou-se que o teor de maltodextrina impacta na intensidade da cor vermelha ( $a^*$ ), sendo obtidos maiores valores em concentrações abaixo de 30%. Já as variáveis vazão do ar de secagem e temperatura apresentaram impacto nesse parâmetro de cor somente em combinações com a vazão de alimentação, sendo que acima de 0,8 L/h e abaixo de 0,3 L/h, provocam um aumento no parâmetro e, conseqüentemente, na intensidade da cor vermelha.

Figura 35 - Efeito das variáveis do PCC para parâmetro de cor a\*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

#### 5.2.4.2 Parâmetro $b^*$

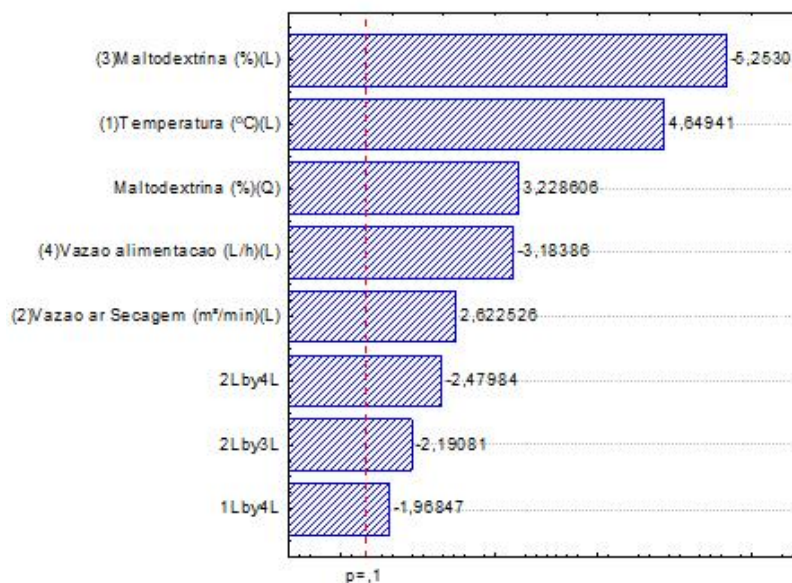
Ao realizar a comparação com o resultado obtido na análise *in natura* ( $2,56 \pm 0,32$ ), é possível verificar um aumento do parâmetro, ou seja, um incremento na intensidade da cor amarela, conforme Tabela 8.

O maior valor encontrado do parâmetro  $b^*$  na secagem foi de 2,94, nas condições de temperatura, vazão do ar de secagem nos níveis (+1), % de maltodextrina e vazão de alimentação nos níveis (-1). Por outro lado, o menor foi de 1,13 e foi observado nos níveis intermediários de temperatura e vazão do ar de secagem e níveis +1 de % de maltodextrina e vazão de alimentação. Nesse sentido, nota-se que a variação nesse parâmetro de cor em função



das variáveis foi menos intensa em comparação com os demais. O impacto das variáveis pode ser confirmado no Gráfico de Pareto (Figura 36), no qual evidencia-se que a maltodextrina foi a variável que mais impactou, e de forma negativa, no parâmetro  $b^*$ , seguido pela temperatura. É possível verificar, também, que os maiores valores do parâmetro  $b^*$  foram encontrados em temperaturas superiores a 120°C e vazão do ar de secagem acima de 1,75 m<sup>3</sup>/min.

Figura 36 - Gráfico de Pareto com as variáveis significativas para a resposta de  $b^*$ .



Sendo: (1) Temperatura (°C), (2) Vazão do ar de secagem (m<sup>3</sup>/min), (3) Concentração de Maltodextrina (%) e (4) Vazão de Alimentação (l/h).

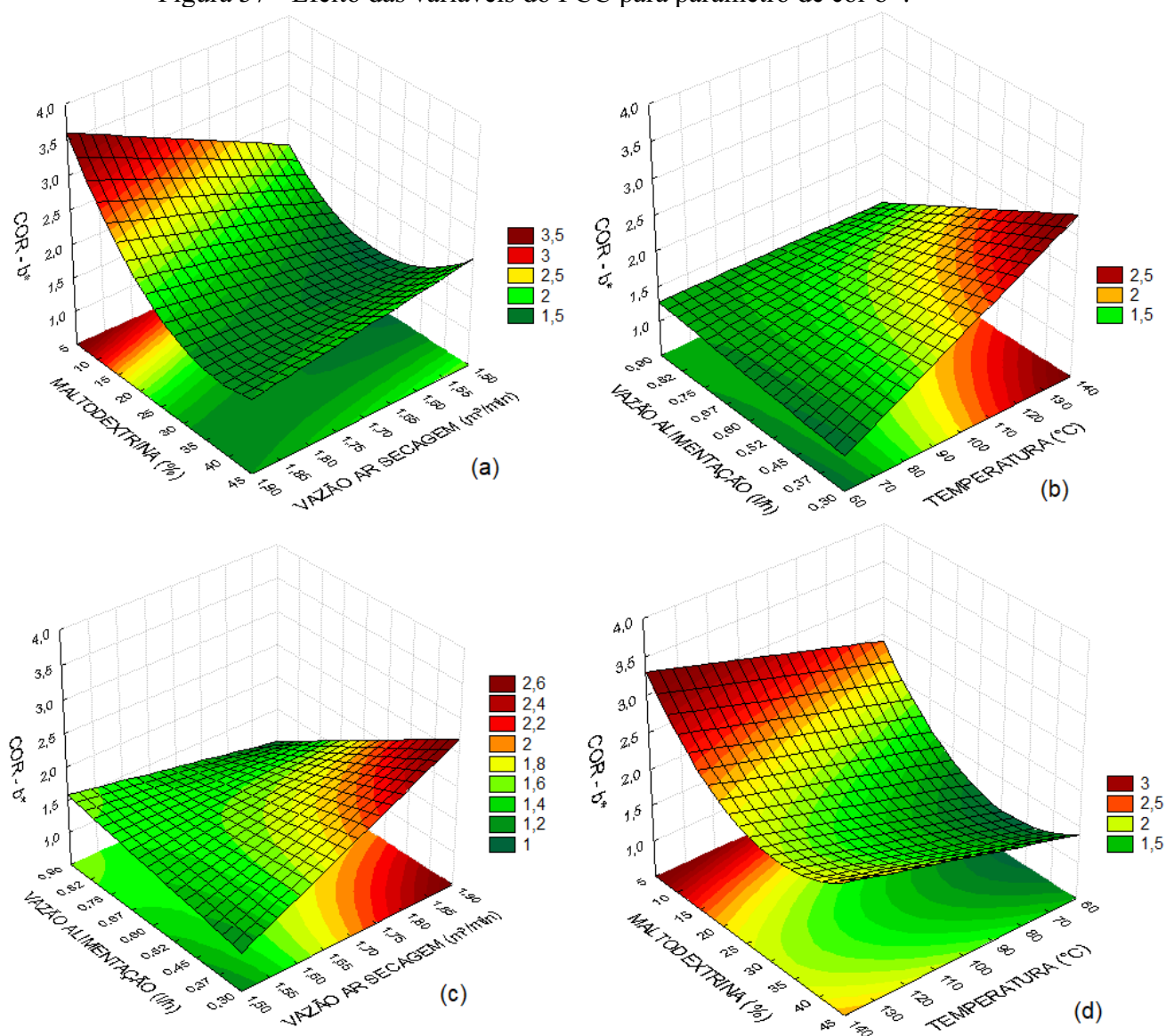
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O parâmetro  $b^*$  pode ser expresso pela Equação 15 ( $R^2 = 0,84326$ ) e Figura 37, em que as variáveis não apresentadas estão no nível central, sendo constatado que todas as variáveis foram estatisticamente significativas tanto de forma independente quanto combinada.

$$b^* = 1,59 + 0,22 \cdot x_1 + 0,13 \cdot x_2 - 0,25 \cdot x_3 + 0,19 \cdot x_3^2 - 0,15 \cdot x_4 - 0,11 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0,12 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,14 \cdot x_2 \cdot x_4 \quad (15)$$

As variáveis vazão alimentação e concentração de maltodextrina impactaram expressivamente os resultados para esse parâmetro. Ferrari (2012), ao realizar a secagem de amora preta, verificou que o parâmetro  $b^*$  diminuiu à medida que se aumentou a temperatura (de 160°C para 180°C) e a concentração de maltodextrina (de 15% para 25%), resultando uma maior intensidade de tonalidade azul.

Figura 37 - Efeito das variáveis do PCC para parâmetro de cor b\*.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Assim, diante do que foi exposto, a secagem em *spray dryer* se mostrou uma técnica bem eficiente desde que otimizadas as variáveis do processo. Obteve-se significativas concentrações de compostos bioativos em relação aos teores encontrados, apesar do impacto e redução em relação ao produto *in natura*, além de bons rendimentos e baixas umidades dos pós finais obtidos. Dessa forma, essa metodologia é uma alternativa a ser utilizada no reaproveitamento de resíduos por se tratar de uma técnica satisfatória e com a possibilidade de manipulação das variáveis para se obter o produto nos parâmetros requeridos.

### 5.3 Secagem por micro-ondas

Os resultados dos experimentos de secagem por micro-ondas, com as respectivas condições operacionais, estão apresentados na Tabela 9. Nos testes preliminares foram realizados testes em cada potência até encontrar uma umidade inferior a 10%. Assim, os tempos foram fixados em cada potência sendo 136, 33, 16 e 10m para as potências 70, 280, 490 e 700W, respectivamente. Foi possível verificar que os pós obtidos sem a adição de maltodextrina apresentaram alta aderência no recipiente e uma grande diminuição do volume (Figura 38.a). Com a adição do agente carreador (Figura 38.b) houve um aumento no volume e uma menor aderência do material.

Tabela 9 - Umidades finais obtidas nas desidratações por micro-ondas.

<b>Experimento</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Maltodextrina (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>
1	70	0	1,49
2	70	15	7,46
3	70	25	6,65
4	280	0	2,31
5	280	15	1,35
6	280	25	0,16
7	490	0	6,53
8	490	15	0,54
9	490	25	1,18
10	700	0	7,93
11	700	15	0,47
12	700	25	0,43

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Figura 38 - Pós obtidos após secagem em micro-ondas sem maltodextrina (a) e com maltodextrina (b).



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

### 5.3.1 Teor de Fenólicos Totais (TPC)

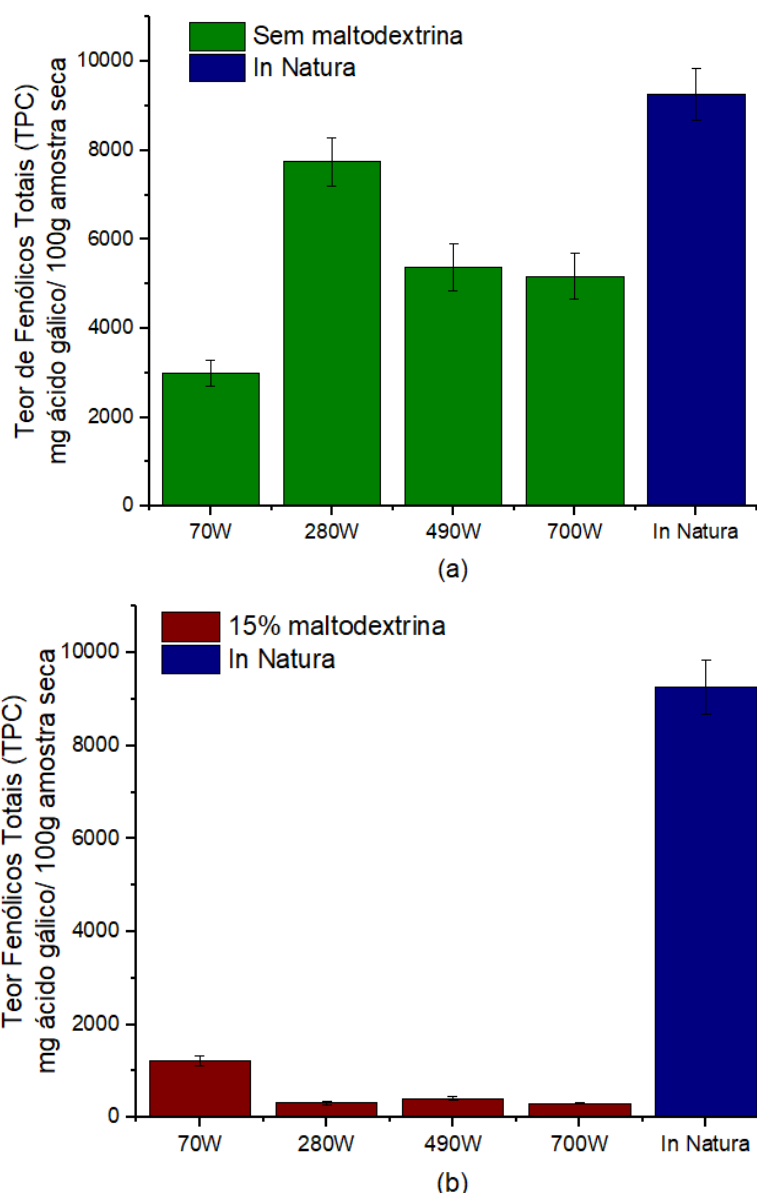
Os resultados obtidos para o Teor de Compostos Fenólicos (TPC) na secagem por micro-ondas são apresentados na Figura 39. Conforme esperado, os experimentos isentos de maltodextrina apresentaram maiores quantidades de compostos fenólicos, sendo que esses teores diminuíram com a adição e aumento da concentração do carreador.

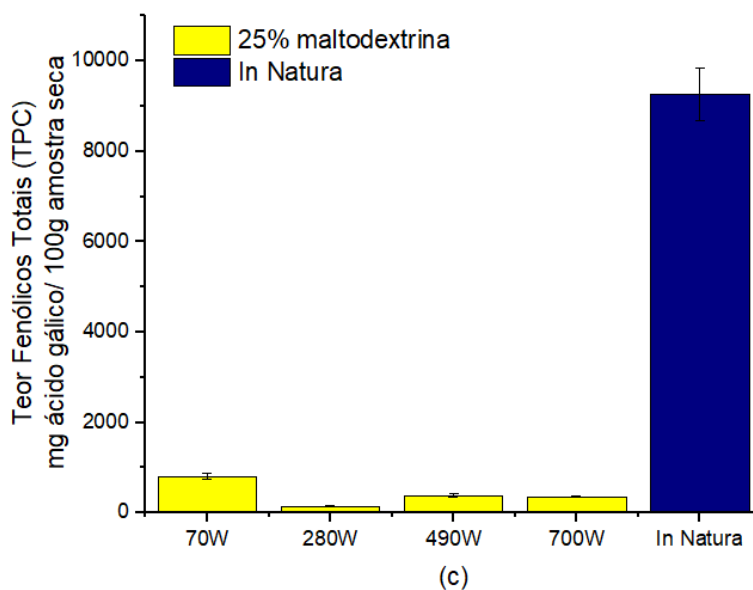
Ao analisar os melhores resultados após secagem, verifica-se que a secagem por micro-ondas possibilitou uma boa retenção de bioativos quando comparado os bioativos nos pós aos resultados *in natura*, sendo uma retenção de 84% nos compostos após secagem, no melhor resultado, em um experimento realizado na potência de 280W. Mesmo com a redução dos compostos em relação ao *in natura*, esses valores continuaram sendo considerados de altos a intermediários, segunda a classificação de Vasco (2009).

Para as amostras desidratadas sem maltodextrina (Figura 39.a), os experimentos conduzidos na menor potência apresentaram as menores concentrações de compostos fenólicos e esses aumentaram consideravelmente nos experimentos da potência de 280W. Nas potências de 490 e 700W as concentrações de compostos diminuíram ocasionando uma degradação desses compostos e apresentaram o mesmo comportamento, indicando uma potência de baixa a intermediária ideal para realização da secagem. Esse comportamento também foi verificado por Ghanen et al. (2012) ao realizar a secagem de frutas cítricas em diferentes potências no micro-ondas.

Quando observamos os experimentos utilizando maltodextrina em diferentes concentrações nota-se que, além dos TPC serem menores, os resultados foram muito próximos, sendo levemente melhores na potência de 70 W, o que pode indicar um efeito de proteção térmica desse agente carreador e novamente as potências de 490 e 700W mostraram um comportamento similar (Figura 39).

Figura 39 - Resultados do Teor de Compostos Fenólicos na desidratação por micro-ondas.





Fonte: Dados da pesquisa (2021).

O Experimento 4, na potência de 280W e sem maltodextrina, apresentou a maior quantidade de compostos fenólicos, o que correspondeu a 7743,32 mg de ácido gálico/ 100 g de amostra seca. Por outro lado, o Experimento 6, também na potência de 280W e com 25% de maltodextrina, resultou na menor quantidade de compostos fenólicos (145,17 mg de ácido gálico/ 100g de amostra seca). Nota-se também que os resultados apresentaram boas concentrações de compostos fenólicos (faixa de 145,17 a 7743,32 mg ácido gálico/100g de amostra seca), e que os maiores resultados são encontrados em potências intermediárias e sem a adição de agentes carreadores, os quais impactaram negativamente os resultados dessa variável-resposta. A mesma tendência foi encontrada por Izli et al. (2017) ao realizar a secagem da manga na potência de 350W e tempo de 14 min e pelos autores Al Juhaimi et al. (2016) ao realizar a secagem da maçã (cultivar Starking).

Assim, de acordo com as análises, para se obter maiores valores de TPC a secagem deve ser realizada em uma potência intermediária de 280W e sem a adição do agente carreador.

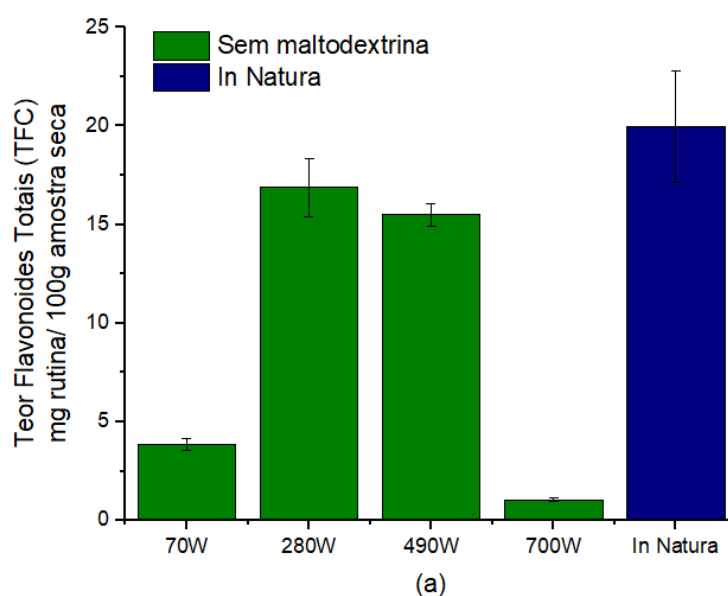
### 5.3.2 Teor de Flavonoides Totais (TFC)

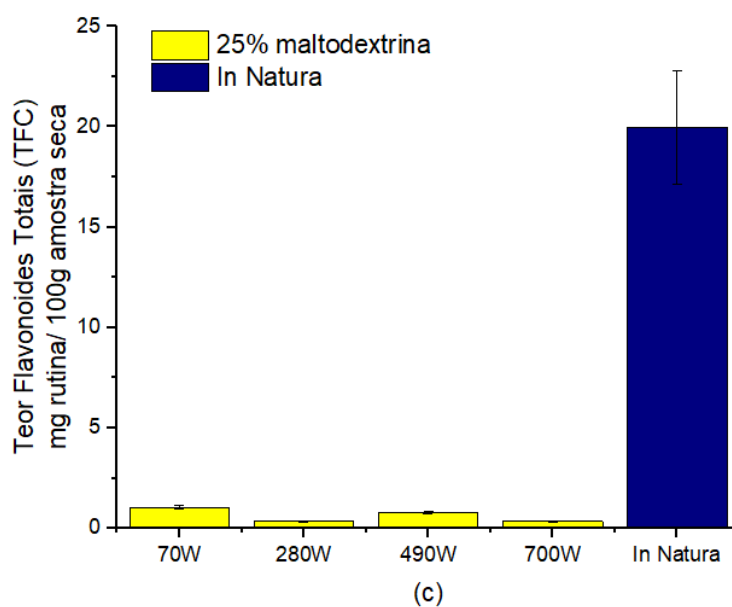
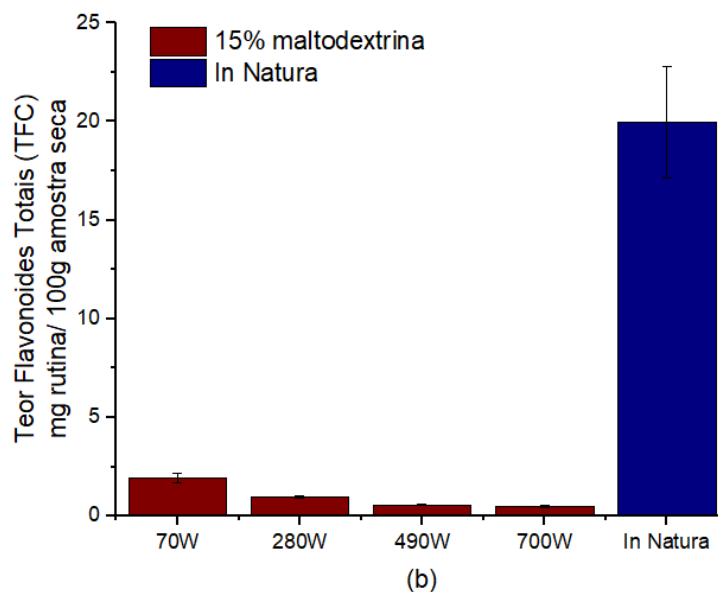
O comportamento observado para o Teor de Flavonoides Totais (TFC) foi bastante próximo daquele observado para os compostos fenólicos, em que os experimentos sem maltodextrina apresentaram maiores quantidades de flavonoides, sendo constatada diminuição na quantidade desses em função da adição e aumento da concentração do carreador.

Uma observação interessante é que ao se comparar o melhor resultado do Experimento 4 com *a in natura*, verifica-se que a secagem se mostrou eficiente, com uma retenção de 95% no teor de flavonoides em relação à *in natura*, nos experimentos sem maltodextrina e com potência intermediária.

Para as amostras sem maltodextrina, os experimentos realizados na menor potência apresentaram as menores concentrações de flavonoides e esses aumentaram consideravelmente nos experimentos conduzidos na potência de 280W (Figura 40.a), em que o maior valor foi o Experimento 4 com 16,88 mg de rutina/ 100g de amostra seca. Esse aumento pode ser explicado pelo rompimento da matriz interna do material à medida que a umidade foi sendo removida, conforme observado por Nogueira (2016) ao realizar a desidratação de acerola com técnicas híbridas. Esse autor verificou que os flavonoides aumentaram com o aumento da potência no micro-ondas devido ao rompimento das fibras e liberação desses compostos. Ramadan (2017), ao realizar o estudo da secagem de resíduos de acerola, também observou que o teor de flavonoides total aumentou em 173% e 84% em relação ao *in natura* nas secagens através de micro-ondas à vácuo e micro-ondas acoplado a tambor rotativo, respectivamente. Porém nas potências de 490 e 700W, as concentrações de compostos diminuíram, indicando a potência de 280 W, entre os valores investigados, como a ideal para este composto.

Figura 40 - Resultados do Teor de Compostos Flavonoides na desidratação por micro-ondas.





Fonte: Dados da pesquisa (2021).

As analisar os resultados obtidos nos experimentos com maltodextrina, nota-se resultados bem inferiores aos experimentos sem este agente carreador e muito próximos em todas as potências, com uma leve degradação à medida que essa foi aumentada. O menor teor de 0,35 mg de rutina/100g, foi na melhor potência obtida anteriormente, isto é, na condição com maior biodisponibilidade desses compostos. Esses compostos ao entrar em contato com a maltodextrina se degradam. Assim, nota-se o efeito negativo do agente carreador na retenção de flavonoides.

Logo, destaca-se que os resultados apresentaram boas concentrações de flavonoides, desde que a secagem seja realizada em potência intermediária (280W) e sem a adição de agentes



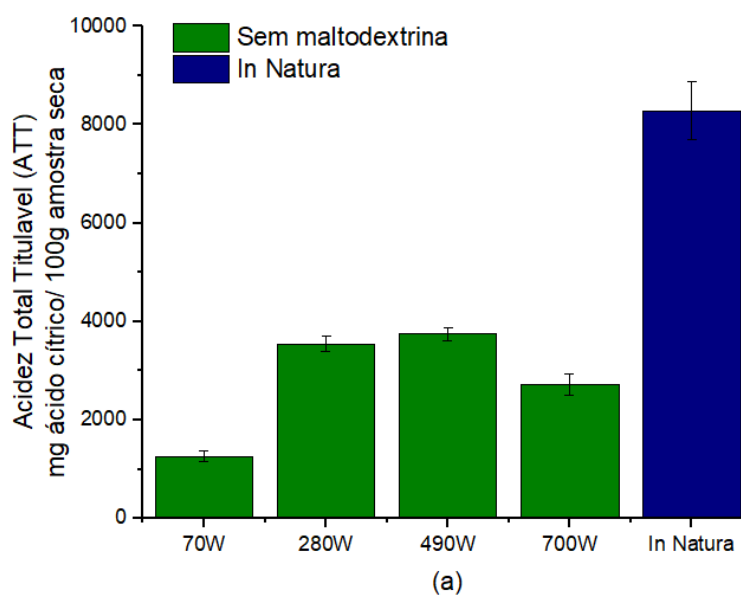
carreadores, visto que esses impactaram negativamente os resultados para essa variável-resposta. Contudo, vale destacar que sem a adição de maltodextrina verificou-se perdas de material (rendimento) devido a aderência.

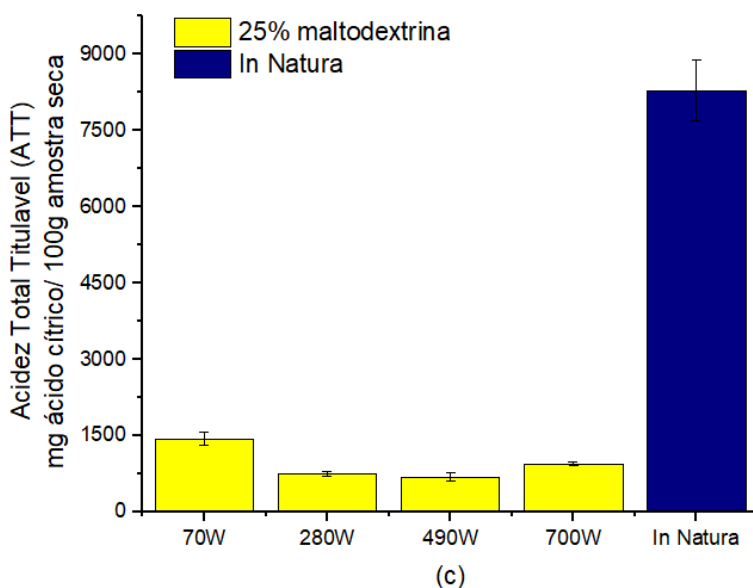
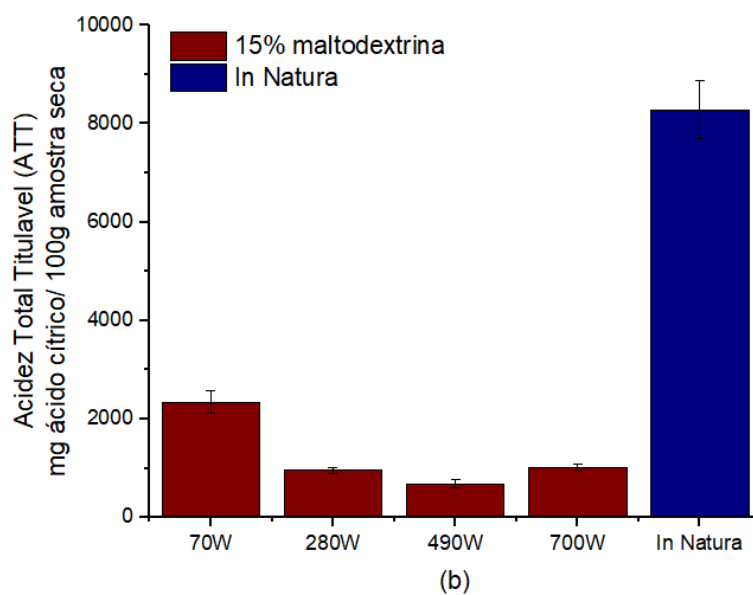
### 5.3.3 Acidez Total Titulável (ATT)

Os teores de ácido cítrico sofreram maior influência da radiação micro-ondas quando comparado aos resultados de compostos fenólicos e flavonoides, sendo uma retenção de 55% no maior resultado, obtidos em potência intermediária e sem maltodextrina, quando comparado com o *in natura*. De modo semelhante, Maia et al. (2007) verificou degradação do ácido cítrico em suco de acerola após secagem. Nogueira (2016), também observou degradação considerável em potências maiores, o que também foi relacionado ao aumento da temperatura.

Os experimentos realizados sem maltodextrina apresentaram maiores valores de acidez e foi observado uma elevação com o aumento da potência, em que as potências intermediárias levaram aos melhores resultados (Figura 41.a), sendo o Experimento 7, conduzido na potência de 490W e sem maltodextrina como maior quantidade de 3745,64 mg ácido cítrico/100 g de amostra seca, seguido pelo Experimento 4, com 3541,67 mg de ácido cítrico/ 100g de amostra seca, realizado na potência de 280W e sem o agente carreador.

Figura 41 - Resultados da Acidez Total Titulável (ATT) na desidratação por micro-ondas.





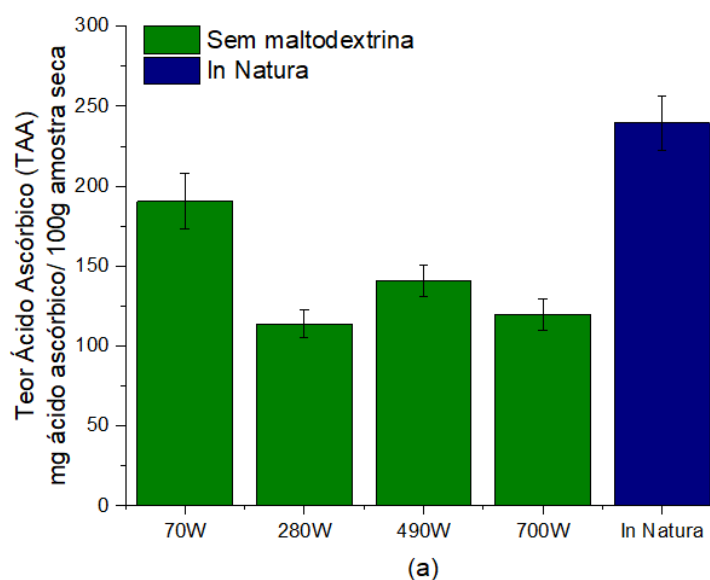
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

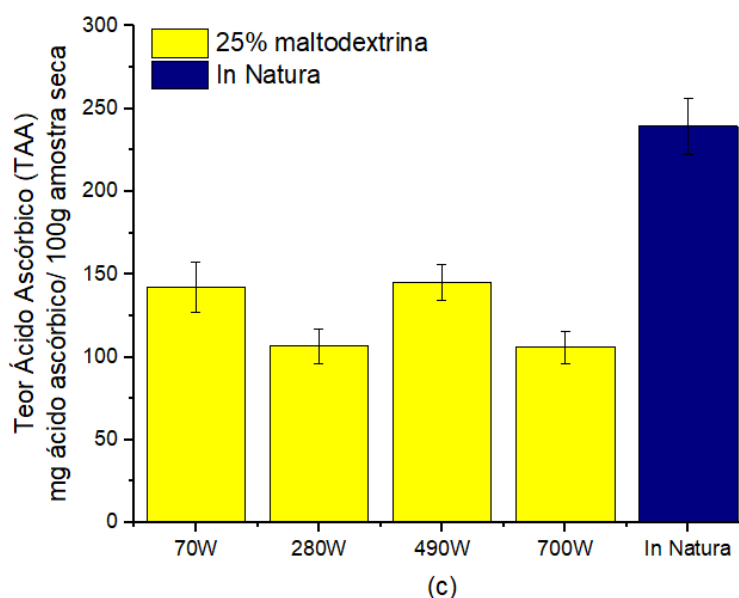
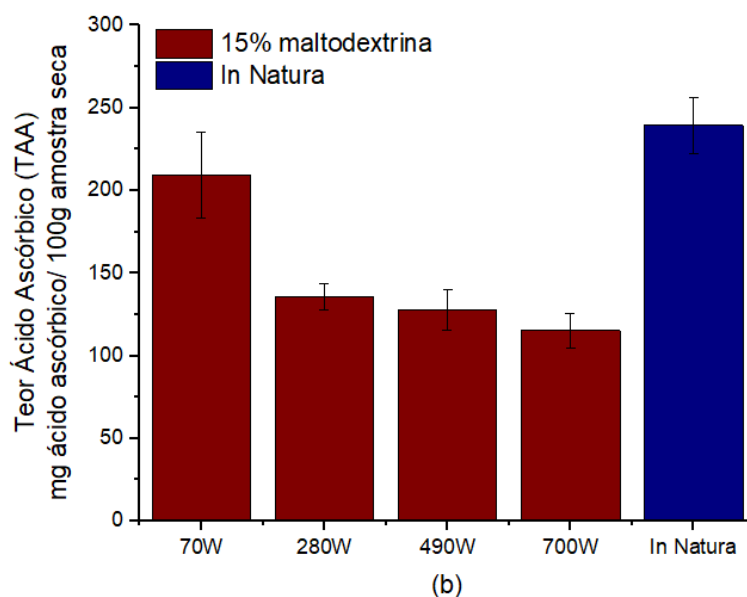
Nos experimentos com o agente carreador, observa-se que, de forma geral, houve levemente melhores resultados na potência inferior (70W), e as potências intermediárias foram as mais afetadas pela degradação ocasionada pelas micro-ondas. Assim, o Experimento 8, conduzido com a potência de 490W e maior quantidade de maltodextrina, resultou na menor acidez (682,58 mg de ácido cítrico/100 g de amostra seca), conforme Figura 41.c. Uma menor quantidade de acidez no material pode ser vantajosa, visto que ela é responsável pelo amargor, o que pode causar menor aceitação pelos consumidores.

### 5.3.4 Teor de Ácido Ascórbico (TAA)

Os teores de ácido ascórbico estão expressos na Figura 42. É possível verificar que os resultados obtidos apresentaram boas concentrações de vitamina C, em que as secagens realizadas nas menores potências, e, portanto, em menores temperaturas, tiveram valores bem próximas ao *in natura* e houve menor degradação devido à secagem em comparação aos demais compostos bioativos. Ramadan (2017) ao realizar o estudo da secagem de resíduos de acerola, verificou que o teor de ácido ascórbico aumentou em 211% e 268% em relação ao *in natura*. Lokhande et al. (2016) obteve uma retenção de 11,92 mg de ácido ascórbico/100g de amostra seca ao realizar a secagem de uva na potência de 750W, valor bem inferior aos encontrados nesse estudo.

Figura 42 - Resultados do Teor de Ácido Ascórbico na desidratação por micro-ondas.





Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Diferente dos demais compostos, para a Vitamina C a variável-resposta maltodextrina apresentou um efeito positivo, principalmente nas secagens com concentrações de 15% (Figura 42.b). Nos experimentos sem a adição de maltodextrina (Figura 42.a), o valor encontrado na menor potência (70W) sofreu uma degradação de 20%. Houve uma queda nesse composto bioativo no aumento para a potência de 280W, seguida por um leve aumento na potência de 490W e, novamente, outra queda na maior potência (700W), porém os valores nessas 3 maiores potências ficaram próximos.

Já os experimentos realizados na concentração de 15% de maltodextrina, apresentaram os maiores resultados de ácido ascórbico e houve uma queda à medida que se aumentou a

potência. O Experimento 2, realizado na menor potência de 70W, apresentou um resultado de 209,17 mg de ácido ascórbico/ 100g de amostra seca (Figura 42.b), sendo uma retenção de 87% em relação ao *in natura*.

Por fim, os experimentos realizados na maior concentração de maltodextrina (25%) apresentaram os menores valores de ácido ascórbico, sendo que foi notado o mesmo comportamento dos experimentos sem maltodextrina com a variação da potência (Figura 42.c). O maior valor encontrado, na menor potência, obteve uma retenção de 93% em relação ao *in natura*. Assim, de uma forma geral, verifica-se que a secagem por micro-ondas com a menor potência (70W) e com uma concentração intermediária de maltodextrina (15%) resultaram em pós com maiores retenções de ácido ascórbico.

### 5.3.5 Cor

Os pós obtidos após secagem no micro-ondas apresentaram coloração escura, conforme apresentado na Figura 43. Constatou-se escurecimento do produto após a secagem comparado a polpa *in natura*, o que pode também ser evidenciado pelo decréscimo do parâmetro luminosidade ( $L^*$ ).

Figura 43 - Pós obtidos na desidratação por micro-ondas em diferentes temperaturas.

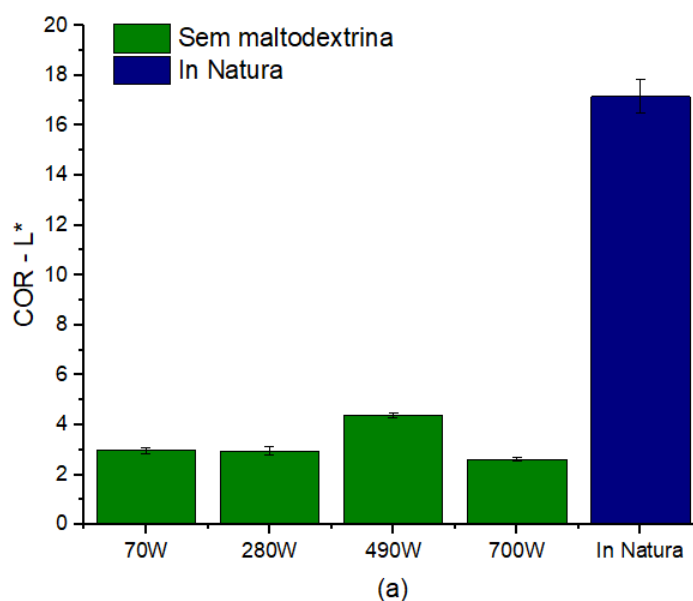


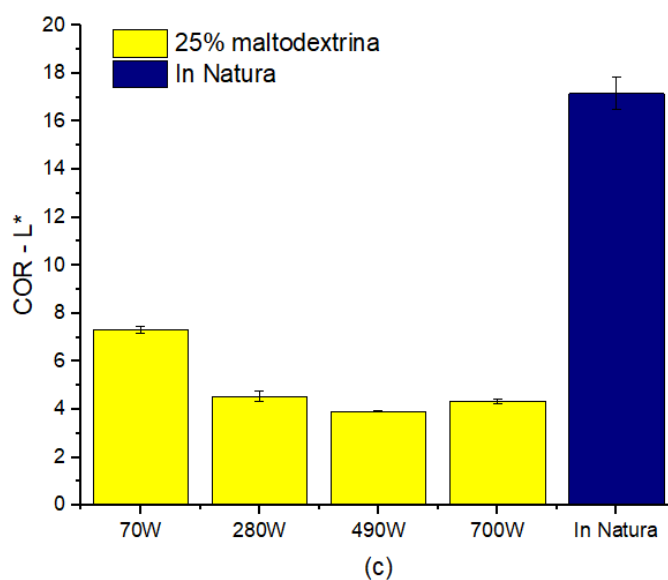
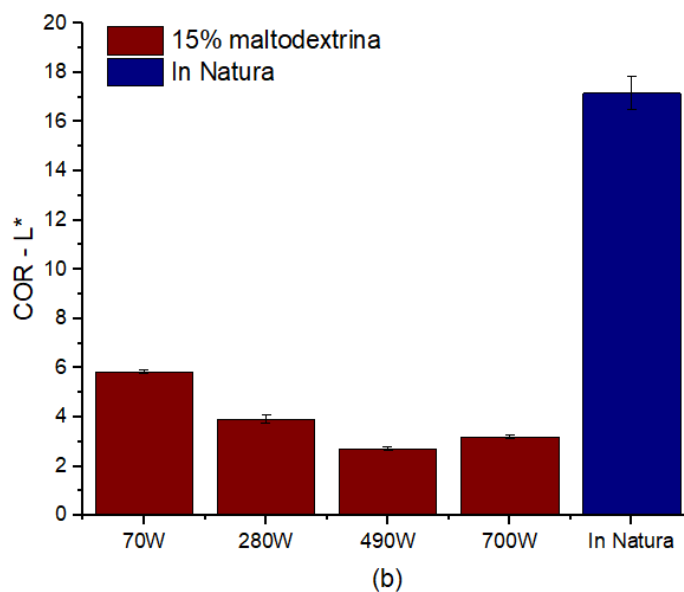
Fonte: Dados da pesquisa (2021).

### 5.3.5.1 Parâmetro $L^*$

Os resultados obtidos no parâmetro de luminosidade ( $L^*$ ) estão expressos na Figura 44. Verifica-se que houve uma queda significativa neste parâmetro, em todos os experimentos em relação ao *in natura*, o que indica um escurecimento da amostra devido a uma possível carbonização da mesma e consequente diminuição da luminosidade. Essa tendência também foi verificada por Bige (2016) que constatou diminuição na luminosidade com o aumento da potência na secagem de damasco nas potências de 90 e 160W. Outro fator que pode ocasionar essa diminuição da luminosidade e escurecimento dos pós é a oxidação do ácido ascórbico. Em frutas, essa reação química ocorre, geralmente, em meios ácidos e em temperaturas mais elevadas (MELO FILHO; VASCONCELOS, 2011). Os experimentos com a adição de maltodextrina (Figuras 44.b e 44.c) apresentaram, levemente, menor impacto de escurecimento das amostras, principalmente, nas menores potências e pode estar relacionado ao agente carreador adicionado, que pode ter gerado efeito de proteção.

Figura 44 - Resultados de luminosidade ( $L^*$ ) na desidratação por micro-ondas.





Fonte: Dados da pesquisa (2021).

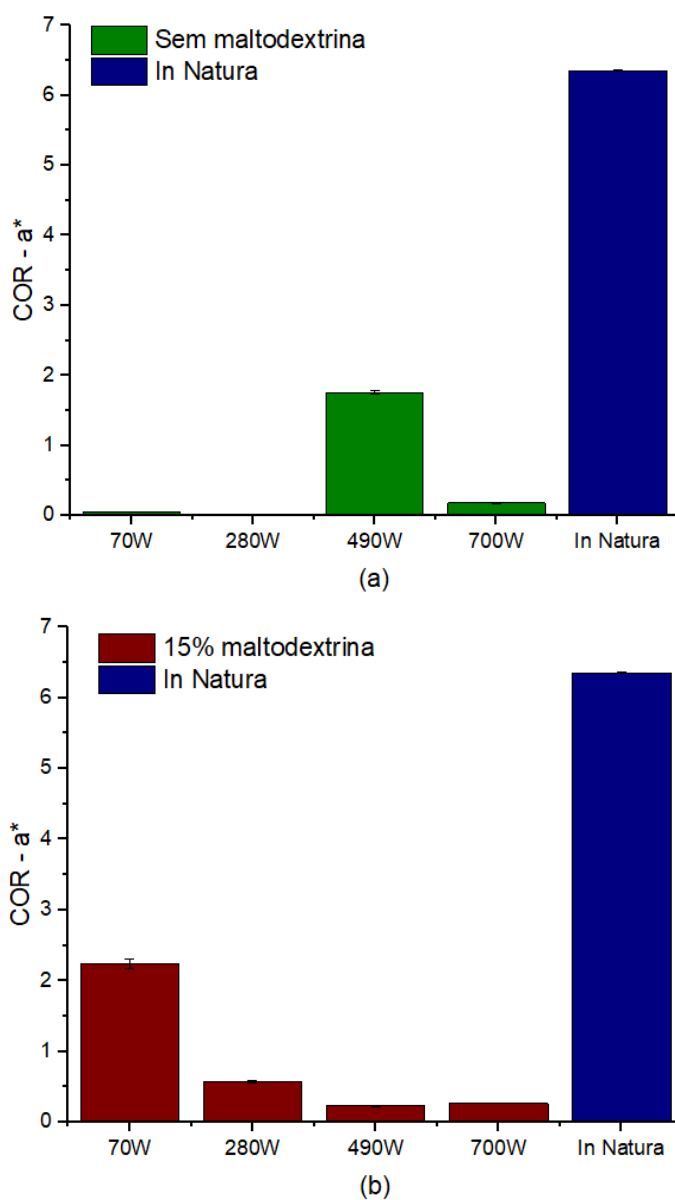
O Experimento 3, realizado na menor potência (70W) e 25% de maltodextrina, apresentou o maior valor de luminosidade no presente estudo, o que pode ser explicado pela menor potência aplicada e maior percentual de agente carreador, como a maltodextrina possui coloração branca, os cristais desse agente passaram a compor a amostra aumentando assim a luminosidade. Já o Experimento 10, conduzido na maior potência (700W) e sem maltodextrina, resultou na menor luminosidade, sendo verificada maior tendência ao preto. Gomes (2019) obteve valores de 15,75; 19,75 e 20,18 para as potências 480, 280 e 200W, respectivamente, na desidratação da casca e polpa de graviola, os quais representam maior luminosidade quando

comparadas a esse estudo. Da mesma forma, Izli (2017) verificou diminuição no parâmetro de luminosidade na secagem de tâmaras secas em micro-ondas na potência de 120W.

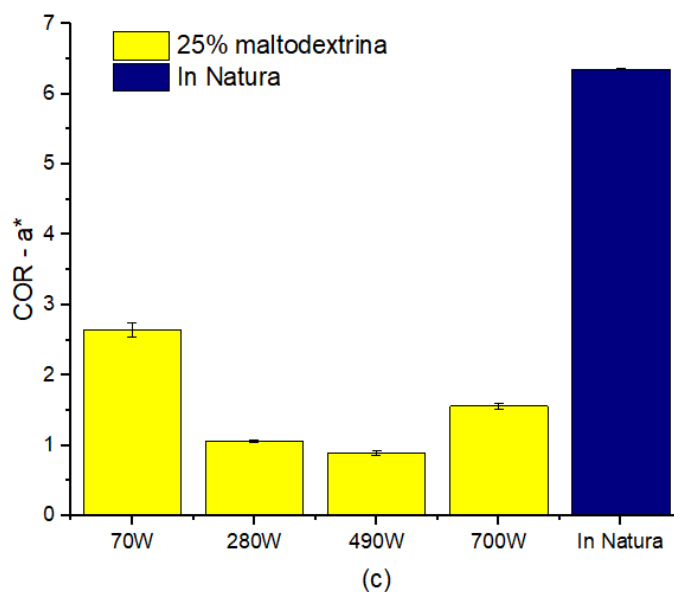
### 5.3.5.2 Parâmetro $a^*$

Os resultados obtidos para o parâmetro  $a^*$  estão expressos na Figura 45, na qual é possível verificar queda significativa no parâmetro, ou seja, uma maior tendência a cor verde após as secagens, o que pode ser observado na coloração do pó obtido (Figura 46).

Figura 45 - Resultados do parâmetro  $a^*$  na desidratação por micro-ondas.







Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Os experimentos realizados sem a adição de agente carreador sofreram impacto maior no parâmetro  $a^*$  (Figura 45.a), sendo o menor valor obtido no Experimento 4, que apresentou uma queda de quase 99% em relação ao *in natura*, representando uma maior tendência à coloração verde. No experimento realizado na potência intermediária (490W), houve acréscimo na coloração verde em relação as demais potências.

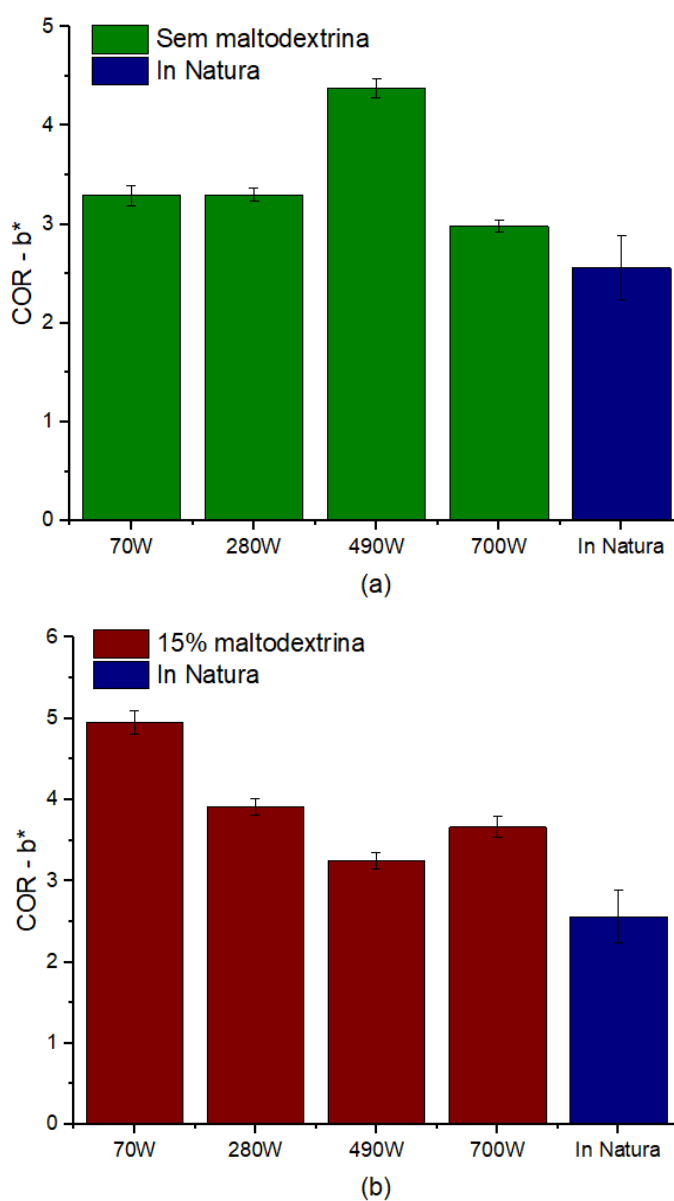
Nos experimentos realizados com 15% de maltodextrina, verificou-se aumento nos valores de  $a^*$  com a diminuição à medida que se aplicou maiores potências (Figura 45.b). O Experimento 2, realizado na potência de 70W, apresentou queda de, aproximadamente 65%, em relação ao *in natura*. Também foi possível verificar diminuição significativa no parâmetro  $a^*$  nos experimentos submetidos a micro-ondas em relação à *in natura*. De modo semelhante, Bige (2016) também notou uma diminuição na coordenada  $a^*$  de cor instrumental ao realizar a secagem de damasco nas potências de 90 e 160W.

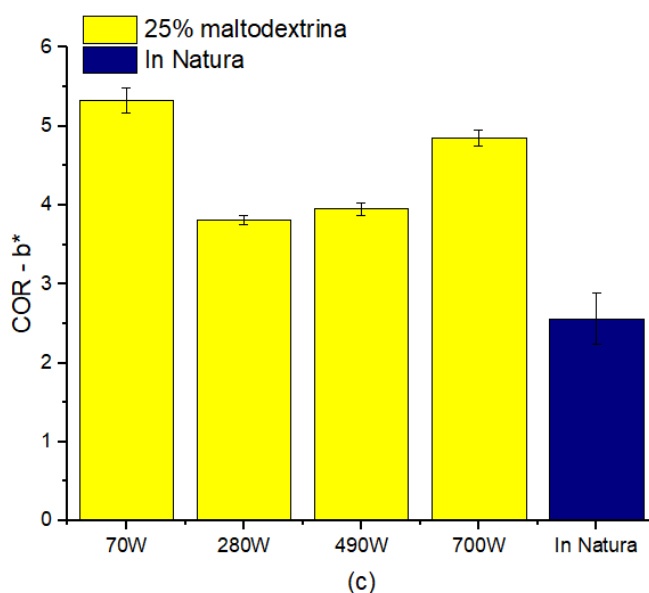
Por fim, os experimentos com maiores valores de  $a^*$  foram realizados nas maiores concentrações de maltodextrina (25%), sendo notada a mesma tendência citada anteriormente com o aumento da potência (Figura 45.c). O Experimento 3, realizado na menor potência (70W), resultou no maior valor para esse parâmetro dentre os demais experimentos. Destaca-se que esse resultado pode ser explicado por uma maior tendência a cor vermelha, em relação a verde, à medida que é realizada a secagem.

### 5.3.5.2 Parâmetro $b^*$

Os resultados dos experimentos em relação ao parâmetro  $b^*$ , que é a variação entre o amarelo e o azul, estão representados na Figura 46. Verifica-se que dentro os demais parâmetros analisados, esse foi o único que apresentou todos os resultados superiores ao *in natura*. Isso significa que a secagem gerou pós com uma maior tendência à coloração amarela em relação ao azul. Ademais, observou-se diferentes variações no parâmetro  $b^*$  de acordo com cada potência aplicada.

Figura 46 - Resultados do parâmetro  $b^*$  na desidratação por micro-ondas.





Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Nos experimentos realizados sem adição de maltodextrina, os resultados foram bem próximos, com exceção do valor obtido na potência de 490W, que foi 71% superior ao *in natura*. Nos resultados obtidos com 15% de maltodextrina, foi observado leve aumento nos resultados em relação aos valores sem o agente carreador, sendo verificada pequena queda com o aumento da potência. O Experimento 2, realizado na maior potência, apresentou um valor 93% maior que o *in natura*, indicando tendência a coloração amarela.

Em relação aos resultados obtidos com as maiores concentrações de maltodextrina, também foi verificada a mesma tendência que ocorreu com 15% do agente carreador. O Experimento 3, realizado na menor potência (70W), resultou no maior valor obtido nas secagens, sendo constatado aumento da ordem de 108% em relação ao *in natura*.

Santos Júnior (2021), ao realizar a secagem durante o desenvolvimento de um protótipo de secador de micro-ondas à vácuo, verificou que o parâmetro  $b^*$  aumentou em 83% a variação na secagem da maçã a 8W/g quando comparada a secagem convectiva e reduziu em 55% a variação a 20W/g. Essas mudanças podem estar relacionadas ao escurecimento com a potência empregada e consequente degradação dos pigmentos (carotenoides) e formação de material com tons marrons devido as reações de Maillard (KAMMOUN BEJAR et al., 2011).

Ao comparar os resultados obtidos com a metodologia de secagem em *spray dryer*, foi notada que essa técnica ocasionou em maiores retenções de compostos bioativos. Logo, o processo de desidratação por micro-ondas é uma técnica que culmina em bons resultados sobre o teor compostos bioativos. No entanto, é relevante mencionar que a obtenção de resultados

positivos sobre o teor desses compostos depende da adoção de potências intermediárias, visto que a secagem em potências maiores pode resultar na degradação dos mesmos. De uma forma geral, a adição de maltodextrina apresentou efeitos negativos na secagem por micro-ondas, pois, além de ocasionar custos mais elevados com a adição do material no processo de secagem, também influenciou negativamente na retenção de compostos bioativos, principalmente compostos fenólicos, flavonoides e ácido cítrico.

## 6 CONCLUSÃO

O estudo realizado demonstrou que o fruto de jabuticaba é fonte de compostos bioativos conhecidamente como essenciais para a saúde humana, sendo esses contidos tanto no produto *in natura* quanto no produto obtido após secagem em diferentes metodologias.

As metodologias de desidratação estudadas (*spray dryer* e micro-ondas) foram eficientes na remoção de umidade do material e também permitiram preservar as propriedades bioativas. Dentre as metodologias utilizadas, a secagem em *spray dryer* resultou em os pós com umidades inferiores a 5% para todas amostras analisadas, o que demonstra a eficiência da metodologia visto que essa resultou em bom rendimento no processo de secagem (chegando a quase 63%).

No entanto, ao adotar essa metodologia foi necessária a adição de um agente carreador (maltodextrina) devido ao alto teor de açúcares presentes na polpa e à aderência do material nas paredes do secador. Quanto à cor, foi verificada coloração mais clara devido ao aumento da luminosidade, sendo que os pós obtidos apresentaram coloração que variou entre rosa claro a rosa escuro. No que tange os compostos bioativos, de uma forma geral, os melhores resultados foram obtidos em temperaturas superiores (acima de 110°C) e concentrações de maltodextrina e vazão de alimentação inferiores, abaixo de 15% e 0,5 l/h, respectivamente.

A secagem da jabuticaba por micro-ondas também permitiu obter produtos com alto teor de compostos bioativos, sendo que esses foram superiores aos encontrados na secagem em *spray dryer*. Quanto à coloração, os pós apresentaram cor escura, notado na diminuição considerável do parâmetro de luminosidade, o que pode ter ocorrido, possivelmente, devido à carbonização do material.

Além disso, observou-se que a adição do agente carreador teve impacto negativo sobre o teor de compostos bioativos, visto que os melhores resultados foram obtidos nos experimentos conduzidos sem uso de maltodextrina, com exceção da vitamina C. Essa resposta apresentou melhores resultados quando houve a adição de 15% de maltodextrina, sendo esse o limite, visto que decréscimo na concentração desse composto pode ser verificado quando a secagem é realizada na concentração de 25% desse agente carreador. Assim, houve grande retenção de compostos bioativos, com valores bem próximos a polpa *in natura*, principalmente nos experimentos realizados em potências intermediárias (280 a 490W) e sem a adição de maltodextrina.

Em relação aos estudos cinéticos realizados na secagem por infravermelho, constatou-se que o modelo de Midilli (2002) conseguiu descrever satisfatoriamente o comportamento da secagem do fruto inteiro de jabuticaba ao longo do tempo.

Ademais, destaca-se que os resultados obtidos por *spray dryer* e micro-ondas permitiram constatar que a jabuticaba pode ser considerada uma boa fonte de compostos bioativos, pelas altas concentrações de fenólicos, flavonoides, acidez e vitamina C tanto no produto *in natura* como nos pós obtidos após as secagens.

Visto que a jabuticaba é uma fruta que possui uma alta perecibilidade, as metodologias apresentadas são boas alternativas para a conservação e comercialização. Além disso, a casca do fruto geralmente é descartada e, atualmente uma das principais preocupações das indústrias é a destinação dos subprodutos gerados ao longo dos processos, reforçando então a importância de se utilizar técnicas alternativas e econômicas para a destinação e aproveitamento do material e ao mesmo tempo manter as qualidades do produto. Por fim, nas condições em que foram realizadas, a metodologia de micro-ondas permitiu uma maior concentração dos compostos bioativos. Além disso, essa técnica é vantajosa, visto que o equipamento adotado na secagem é mais acessível e resulta em menores custos no processo de secagem de alimentos.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização da desidratação da jabuticaba com outras metodologias;
- Realização de desidratação através do Liofilizador para comparação de métodos de secagem;
- Realização de um planejamento de experimentos e análises de compostos bioativos na desidratação por infravermelho;
- Realização da cinética de secagem em todas as metodologias;
- Realização de análise sensorial do pó obtido na melhor técnica de secagem (micro-ondas) para uma aplicação e comercialização do material;
- Avaliação do *shelf-life* dos pós;
- Avaliação da estabilidade dos nutrientes e aplicação em produtos.

## REFERÊNCIAS

A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. Gaithersburg, Maryland, 2005.

A.O.A.C - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18th ed, 3th Review, Washington, 2010.

ABE, L. T.; LAJOLO, F. M. E; GENOVESE, M. I. Potential dietary sources of ellagic acid and other antioxidants among fruits consumed in Brazil: jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg). **Journal of the Science of Food Agriculture**, Chichester, v. 92, p. 1679-1687, 2012. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5531>

ABRAFRUTAS - Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados. **Dados de exportação em 2021**. 2022. Disponível em: < <https://abrafrutas.org/2022/02/dados-de-exportacao-em-2021/>>. Acesso em: 01 ago. 2022.

ABUKHALIFEH, H.; DHIB, R.; FAYED, M.E. Model predictive control of an infrared-convective dryer. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, p. 497–511, 2005. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054123>

ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. (Versão eletrônica).

AGHBASHLO, M. Exergetic simulation of a combined infrared-convective drying process. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, n. 4, p. 829-844, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00231-015-1594-3>

AHERNE, S. A.; O'BRIEN, N. M. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. **Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 75-81, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(01\)00695-5](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(01)00695-5)

AKTER, M. S. et al. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1728-1732, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.045>

AL JUHAIMI, F. et al. Effects of oven and microwave drying on phenolic contents and antioxidant activities in four apple cultivars. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 8, n. 1, p. 51-55, 2016. <https://doi.org/10.3920/QAS2014.0468>

ALEXANDRE, R. S. e al. Estádio de maturação dos frutos e substratos na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de jaboticabeira. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, n. 1, v. 12, p. 227-230, 2006.

ALIBAS, I. Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 8, p. 1445–1451, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.09.002>



ALMEIDA, T. C. de et al. Effect of the carrier agent on the obtaining and characterization of orange juice (citrus sinensis) by atomization. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e49410212739-e49410212739, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12739>

ALMEIDA, R.L. et al. Determination of bioactive compounds and physicochemical composition of jaboticaba bark flour obtained by convective drying and lyophilization. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e157911876-e157911876, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1876>

ALVES, H. G. et al. Kinetic study of the drying of the bark of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) using empirical and semi-empirical models. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e58810514972-e58810514972, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14972>

APELBLAT, A. **Citric Acid**. Cham, Switzerland: Springer, 2014. p. 213–266. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-11233-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11233-6_4)

ARAÚJO, C. S. et al. Princípios da secagem de alimentos. In: ROBERTO, C.D. et al. **Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos**. Vitória: EDUFES, 2020. 334 p.

ASSEGEHEGN, G. et al. Understanding and optimization of the secondary drying step of a freeze-drying process: a case study. **Drying Technology**, v. 39, n.8, p.1003-1017, 2020. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1739065>

AUGUSTA, I.M. **Extração e secagem da casca de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L) Merryl et Perry) para obtenção de corante**. 2011, 134 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

AVELLONE, G. et al. Investigation on the influence of spray-drying technology on the quality of Sicilian Nero d'Avola wines. **Food chemistry**, v. 240, p. 222-230, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.116>

AVILLA, E. L.; RODRIGUEZ, M. C.; VELÁSQUEZ, H. J. C. Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v.68, n.1, p.7509-7520, 2015. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v68n1.47839>

BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M.; KIANA, M. Design, manufacture and investigating functionality of a new batch refractance window system. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n.9, p. 1-7, 2010. [10.13140/2.1.2882.1448](https://doi.org/10.13140/2.1.2882.1448)

BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M.; FARAHNAKY, A. Refractance Window Drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 34-40, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.017>

BALISTEIRO, D. **Efeito dos compostos fenólicos de frutas nativas brasileiras na glycemia pós prandial**. Dissertação (Área de Bromatologia) – Faculdade de Ciências Farmacêutica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 94. 2013.

BANDO, K. et al. Innovative freeze-drying process based on self-heat recuperation technology. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, n.1, p. 1244-1250, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.088>

BARROS, L. et al. Bioactivity and chemical characterization in hydrophilic and lipophilic compounds of *Chenopodium ambrosioides* L. **Journal of Functional Foods**, v. 5, n. 4, p. 1732-1740, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.07.019>

BENMEZIAN, D F. Drying of Fruits: A Mini-Review. **Novel Techniques in Nutrition and Food Science**, v. 3, n. 5, p.1-2, 2019. <https://doi.org/10.31031/NTNF.2019.03.000572>

BHANDARI, B. R.; DATA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997. <https://doi.org/10.1080/07373939708917253>

BIESALSKI, H.K. et al. Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. **Nutrition**, v. 25, n. 11-12, p. 1202-1205, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2009.04.023>

BIGE, I. et al. S. Impact of different drying parameters on color,  $\beta$ -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca* L.). **Food Science and Technology**, v. 36, n.1, p. 171-178, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0086>

BOBBIO, F. O; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 2ª Ed. São Paulo, 1995.

BOHN, F. K. et al. Produção de microcápsulas do extrato supercrítico de jabuticaba (*Plinia trunciflora*) através da atomização em spray dryer. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 4728-4735, 2015. <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1519-18905-172430>

BORGES, L. L. et al. Active compounds and medicinal properties of *Myrciaria* genus. **Food Chemistry**, v. 153, n. 1, p. 224-233, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.064>

BORGES, L. L. et al. Optimization of the Spray-Drying Process for Developing Jabuticaba Waste Powder Employing Response Surface Methodology. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 1, p. e12276, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12276>

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying Cereal Grains**, Westport, CT, USA, 1974.

BRUIJN, J.; BÓRQUEZ, R. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. **Food Research International**, v. 63, p. 42-48, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.029>

BHURASI, S. et al. 2014. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**. V. 266, p. 354-364, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>

BURAK, M.; IMEN, Y. Flavonoids and their antioxidant properties. **Turkiye Klin Tip Bil Derg**, v. 19, n.1, p. 296–304, 1999.

BUTTERFIELD, D. A. et al. Nutritional approaches to combat oxidative stress in Alzheimer's disease. **Journal Nutritional Biochemistry**, v. 13, n.8, p. 444 – 461, 2002.

[https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00205-X)

CACCAVALE, P. et al. Conjugate heat and mass transfer in drying: a modeling review. **Journal of Food Engineering**, v. 176, p. 28-35, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.031>

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>

CALEJA, C. et al. Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients. **Current pharmaceutical design**, v. 23, n. 19, p. 2787-2806, 2017.

<https://doi.org/10.2174/1381612822666161227153906>

CAMLOFSKI, A. M. **Caracterização do fruto de Cerejeira ' Eugenia involucrata DC' para aproveitamento tecnológico**. 2008. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

CAN KARACA, A. GUZEL, O., & Ak, MM (2016). Effect of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. **Journal of The Science of Food and Agriculture**, 96, 449-455. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7110>

CARGILL. **Citric Acid**. 2018. Disponível em: <<https://www.cargill.com/food-bev/la/acidulants/citric-acid>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

CASAGRANDE JUNIOR, J. G. et al. Efeito do estiolamento de ramos e do AIB no enraizamento de estacas herbáceas de jabuticabeira. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 1, p. 24-26, 2000.

CASTAÑEDA-OVANDO, A. et al. Chemical studies of anthocyanins: A review. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 859-871, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>

CASTRO, A. M. et al. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152-167, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>

CAVALVANTI, R. N. et al. Supercritical fluid extraction with a modifier of antioxidant compounds from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) byproducts: economic viability. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1672-1678, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.247>

ÇAKMAK, G.; YILDIZ, C. The drying kinetics of seeded grape in solar dryer with PCM-based solar integrated collector. **Food and bioproducts processing**, v. 89, n. 2, p. 103-108, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.04.001>

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 49 p.

CELMA, A. R. et al. Characterisation of industrial tomato by-products from infrared drying process. **Food and Bioproducts Processing**, v. 87, n. 4, p. 282-291, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2008.12.003>

CHEN, J. et al. Artificial intelligence assisted technologies for controlling the drying of fruits and vegetables using physical fields: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 105, p. 251-260, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.015>

CHEN, Q. et al. Drying kinetics and quality attributes of jujube (*Zizyphus jujuba* Miller) slices dried by hot-air and short-and medium-wave infrared radiation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 759-766, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.071>

CHENG, W. M. et al. Microwave power control strategies on the drying process I. Development and evaluation of new microwave drying system. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 2, p. 188-194, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.006>

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

CHRONAKIS, I.S. On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: A Review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, n. 7, p. 599-637, 1998. <https://doi.org/10.1080/10408699891274327>

CIPRIANO, P. A. **Antocianinas de açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) e casca de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) na formulação de bebidas isotônicas**. 2011. 131 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CITADIN, I.; DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z. Jaboticabeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, São Paulo, n. 4, v.32, p. 0-1, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010000200001>

COLPO, L.P. **Avaliação da capacidade antioxidante e conteúdo de compostos fenólicos de frutas vermelhas submetidas a processamentos por calor (micro-ondas, sous vide, fervura e desidratação)**. 2015, 72 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

COSTA, F. O. M. **Efeito do ethephon na maturação e qualidade do caqui (*Diospyros kaki* L.) cv. Taubaté.** Viçosa, 1991. 56 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa.

COSTA, J. M. C. et al. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Ciência Agronômica**, v.34, n.1, p.5-9, 2003.

COSTA, J. P.; ROCHA, É. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Study of the physicochemical characteristics of soursop powder obtained by spray-drying. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 663-666, 2014. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6380>

DAMASCENO, E. T. S. et al. Determination of the content of ascorbic acid and antioxidant capacity of fruit *Buchenavia tomentosa* Eichler. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 771-784, 2019. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190056>

DANNER, M. A. et al. Enraizamento de jaboticabeira (*Plinia trunciflora*) por mergulhia aérea. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 530-532, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452006000300043>

DANNER, M. A. et al. Variabilidade da qualidade de frutos de jaboticabeiras de diferentes sítios de ocorrência da região Sudoeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., Vitória, 2008. **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2008.

DECAREAU, R. V.; PETERSON, R. A. **Microwave processing and engineering.** Chichester: Ellis Horwood, 1986. 224 p.

DELFIYA, D.S.A. et al. Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 45, n. 6, p. e13810, 2022. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13810>

DIB TAXI, C.M.A. et al. Efeito da temperatura de secagem e da porcentagem de encapsulante no rendimento do suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado em *spray dryer*. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 17., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCTA, 2000.

DINCER, I.; DOST, S. An analytical model for moisture diffusion in solid objects during drying. **Drying Technology**, New York, v. 13, p. 425-435, 1995. <https://doi.org/10.1080/07373939508916962>

DONADIO, L. C. **Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg.** Jaboticabal: FUNEP, 2000. 55 p.

DOSEDĚL, M. et al. Vitamin C—sources, physiological role, kinetics, deficiency, use, toxicity, and determination. **Nutrients**, v. 13, n. 2, p. 615, 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13020615>

DU, Q.; ZHENG, J.; XU, Y. Composition of anthocyanins in mulberry and their antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 5, p. 390–395, 2008.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.02.007>

DUAN, X. et al. The drying strategy of atmospheric freeze drying apple cubes based on glass transition. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p.534-538, 2013.  
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.005>

ENGEL, B. et al. Emprego de *Spray Dryer* na indústria de alimentos: Uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v.7, n. 2, p. 02-11, 2017.  
<https://doi.org/10.17058/rjp.v7i2.9824>

FANG, T. et al. Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. **Food Chemistry**, v. 225, p. 132-137, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.014>

FAZAELI, M. et al. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 667-675, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>

FELLOWS, P. J. **Tecnologia de Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2 ed. Porto Alegre – RS: Ed. ARTMED, 2006.602 p.

FERNANDES, F.A.N. et al. Drying of exotic tropical fruits: a Comprehensive review. **Food and Bioprocess Technology**, v.4, n.2, p.163-185, 2011.  
<https://doi.org/10.1007/s11947-010-0323-7>

FERNANDES, R.V.B.; BORGES, S. V.; BOTREL, B. A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 171-178, 2013.  
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000500025>

FERREIRA, M. N. **Estudo da secagem de jabuticaba (polpa e casca) pelo método de camada de espuma**. 2017, 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

FERRARI, C. C., GERMER, S. P. M., AGUIRRE, J. M. Effects of Spray-Drying Conditions on the Physicochemical Properties of Blackberry Powder. **Drying Technology**, v.30, n.2, p 154-163, 2012. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.628429>

FIDELIS, M. et al. Camu-camu seed (*Myrciaria dubia*) – from side stream to an antioxidant, antihyperglycemic, antiproliferative, antimicrobial, antihemolytic, antiinflammatory, and antihypertensive ingredient. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125909, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125909>

FORMICA, J. V.; REGELSON, W. Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids. **Food and chemical toxicology**, v. 33, n. 12, p. 1061-1080, 1995.  
[https://doi.org/10.1016/0278-6915\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0278-6915(95)00077-1)

GALVÃO, L. M. V. et al. (2016, Outubro). Análise dos parâmetros físico-químicos de cajuína e cajuína obtido por *spray dryer*. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 25., Gramado, RS. **Anais...** Gramado, RS: UFRGS, 2016.

GALVANO, F. et al. Cyanidins: metabolism and biological properties. **The Journal of Nutricional Biochemistry**, v.15, n.1, p.2-11, 2004.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2003.07.004>

GARCIA, J. L. et al. Multi- attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on na Analytic Hierarchy Process. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v. 100, p. 60-69, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.009>

GARCIA, L. G. C. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of jaboticaba var. Pingo de mel during its physiological development. **Food Science and Technology**, v. 39, p. 556-562, 2019. <https://doi.org/10.1590/fst.25218>

GASTALDI, B. et al. Nutraceutical properties of herbal infusions from six native plants of argentine Patagonia. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 73, n. 3, p. 180-188, 2018.  
<https://doi.org/10.1007/s11130-018-0680-3>

GEÒCZE, A. C. **Influência da preparação do licor de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Vell Berg) no teor de compostos fenólicos**. 2007. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GHARSALLAOUI, A. et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>

GOMES, L. C. G. **Elaboração de snacks a partir da mistura de polpa e casca de graviola desidratados**. 2019, 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

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

HALLIWELL, B. Review: vitamin C and genomic stability. **Mutation Research**, Amsterdam, v. 475, n.1-2, p. 29-15, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(01\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(01)00072-0)

HANSULD, M. K., BRIANT, A. M. The effect of citric acid on selected edible starches and flours. **Journal of Food Science**, v. 19, n.1-6, p. 581-589, 1954.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1954.tb17491.x>

HAMINIUK, C. W. I. et al. Phenolic compounds in fruits—an overview. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 10, p. 2023-2044, 2012.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>

HASAN, M. U. et al. Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 12, p. e14280, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14280>

HENDERSON, J. M.; HENDERSON, S. M. A computational procedure for deep-bed drying analysis. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.13, p.87-95, 1968. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(68\)90084-X](https://doi.org/10.1016/0021-8634(68)90084-X)

HENRIQUE, C. M., PRATI, P., PARISI, M. M. C., & TAVARES, S. Determination of shelf life of jaboticaba's fruits cv. Sabará. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 4, p. 320-327, 2015. <https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n4p320-327>

IEA – Instituto de Economia Agrícola. **Jaboticaba do Quintal para Produção de Mercado**. 2019. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14735>>. Acesso em: 10 out. 2021.

IZLI, G. Total phenolics, antioxidant capacity, colour and drying characteristics of date fruit dried with different methods. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 139- 147, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.14516>

IZLI, N.; İZLI, G.; TASKIN, O. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 4, p. 604- 612, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28316>

IGUAL, M.; RAMIRE, S.; MOSQUERAC, L. H.; MARTÍNEZ NAVARRETEA, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology**, v. 256, p. 233-238, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>

INADA, K. O. P. et al. Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions. **Journal of Functional Foods**, v. 17, n. 7, p. 422-433, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.002>

JAIN, D.; PATHARE, P. B. Study the drying kinetics of open sun drying of fish. **Journal of food Engineering**, v. 78, n. 4, p. 1315-1319, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.044>

JESUS, N. de et al. Caracterização de quatro grupos de jaboticabeira, nas condições de Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 482-485, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452004000300026>

JÚNIOR, H. C. M. S. **Secagem de alimentos por micro-ondas: desenvolvimento de um protótipo de secador à vácuo, análise do processo e aplicação sobre diferentes tipos de alimentos**. 2021, 72 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2021.

KÄGI, B.W. **Plantas Lenhosas de Cumaru-PE, Brasil**. 2014. Disponível em: < <http://cumaru-pe.com.br/data/documents/Plantas-lenhosas-de-Cumaru-2014-texto.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2022.



- KALAJAHI, S. E. M; GHANDIHA S. Optimization os Spray Drying Parameters for Encapsulation of Nettle (*Urtica dioica* L.). **Food Science and Techonology**, v. 158, p. 113-149, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113149>
- KAMMOUN, B. A. et al. Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus Sinensis*) peel and leaves. **Journal of Food Processing & Technology**, 2(02), 109-116. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000109>
- KARAFFA, L.; KUBICEK, C. P. Citric acid and itaconic acid accumulation: variations of the same story?. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 103, n. 7, p. 2889-2902, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09607-9>
- KESHANI, S. et al. Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152-162, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.004>
- KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the gac (*Mormodica cochinchinesis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**, v. 98, n. 3, p. 385-392, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.016>
- KHOSHTAGHAZA, M.H. et al. Effects of microwave-fluidized bed drying on quality, energy consumption and drying kinetics of soybean kernels. **Journal of food science and technology**, v. 52, n. 8, p. 4749-4760, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1557-6>
- KIM, D. J. et al. Chemoprevention of colon cancer by Korean food plant components. **Mutation Research - Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 523, p. 99-107, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(02\)00325-1](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(02)00325-1)
- KIM, E. H. J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, Australia, v. 94, n. 2, p. 169-181, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.020>
- KIPCAK, A.S. Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). **Research on Chemical Intermediates**, v. 43, n. 3, p. 1429-1445, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11164-016-2707-4>
- KONG, J.; CHIA, L.; GOH, N.; CHIA, T. Analysis and biological activities of anthocyanins. **Phytochemistry**, v. 63, n. 5, p. 923-933, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00438-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00438-2)
- KUMAR, S.; PANDEY, A. K. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. **The Scientific World Journal**, v. 2013, p.1-16, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/162750>
- LANCHA, J.P. et al. Desidratação de polpa de pitanga e jabuticaba em *spray dryer*: condições de processo e propriedades físico-químicas do pó. In: CONGRESSO

INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 2012, Jaguariúna.  
**Anais...**Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p. 1-10.

LAOHAVANICH, J.; WONGPICHET, S. Thin layer drying model for gas-fired infrared drying of paddy. **Songklanakar Journal of Science & Technology**, v. 30, n. 3, p. 343–348, 2008.

LATTANZIO, V. Phenolic Compounds: Introduction 50. In: RAMAWAT, K.G.; MÉRILLON, J.M. **Natural Products**. Berlin: Springer-Verlag, 2013. p. 1543-1580.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6\\_57](https://doi.org/10.1007/978-3-642-22144-6_57)

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207–220, 2000.  
[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)

LEITE-LEGATTI, A. V. et al. Jaboticaba peel: antioxidant compounds, antiproliferative and antimutagenic activities. **Food Research International**, v. 49, n. 1, p. 596-603, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.044>

LENQUISTE, S. A. et al. Jaboticaba peel and jaboticaba peel aqueous extract shows in vitro and in vivo antioxidant properties in obesity model. **Food Research International**, v. 77, n. 2, p. 162–170, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.023>

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **Indian Chemical Engineer**, v.13, p.427, 1921. <https://doi.org/10.1021/ie50137a021>

LI, Z. Y. et al. Uniformity issue in microwave drying. **Drying Technology**, v. 29, n. 6, p. 652-660, 2011. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.521963>

LIAPIS, A. I.; PIKAL, M. J.; BRUTTINI, R. Research and development needs and opportunities in freeze drying. **Drying Technology**, v.14, n. 6, p. 1265 – 1300, 1996.  
<https://doi.org/10.1080/07373939608917146>

LIMA, A. J. B. et al. Caracterização química do fruto jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) e de suas frações. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Chacão, v. 58, n. 4, p. 416-421, 2008.

LIMA, A. de J. B. et al. Anthocyanins, pigment stability and antioxidant activity in jaboticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n.3, p. 877-887, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000300023>

LIMA, A. J. B. et al. Caracterização química do fruto jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) e de suas frações. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 58, n. 4, p. 416-421, 2008.

LIMA, A. J. B. **Caracterização e atividade antioxidante da jaboticaba [*Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg]**. 2009. 159. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LIMA, E.C. et al. Secagem do extrato da casca do jambo em *spray dryer* - análises físico-químicas antes e após processamento. In: Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Química, 26., Belo Horizonte, 2017. **Anais...** Belo Horizonte: FENEEQ, 2017.

LOKHANDE, S. M.; RANVEER, R. C.; SAHOO, A. K. Effect of microwave drying on textural and sensorial properties of grape raisins. **International Journal of ChemTech Research**, v. 10, n. 5, p. 938- 947, 2017.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2006. 352 p.

MADEIRA, A. N. **Otimização do processo de spray drying pelo uso de pré-desumidificadores no ar de entrada**. 2009, 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2009.

MAHENDRAN, T. 2011. Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: effect of drying method and maltodextrin concentration. **Tropical Agricultural Research and Extension**. v. 13, n.2 p. 48-54, 2011.  
<https://doi.org/10.4038/tare.v13i2.3138>

MANIGLIA, B. C. et al. Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods? **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 143–152, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.038>

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

MARQUES, L. G.; PRADO, M. M.; FREIRE, J. T. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. **Food Science and Technology**, v. 42, n. 7, p. 1232 – 1237, 2009.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.012>

MARQUETTI, Carline. **Desenvolvimento e obtenção de farinha de casca de jaboticaba (*Plinia cauliflora*) para adição em biscoito tipo *cookie***. 116f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina-PR.204.

MARSIGLIA, W.I.M.L. et al. Modeling and simulation of drying process of jaboticaba shells (*Myrciaria cauliflora*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e21510313214-e21510313214, 2021.  
<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13214>

MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 50, n. 1, p. 5-18, 2000.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 4. ed. Londres: George Godwin, 1985.

MELO FILHO, A. B.; VASCONCELOS, M. A. **Química de alimentos**. Recife: UFRPE, 2011. 78 p.

MENDES, D. C. S. et al. Microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) extracts: Evaluation of its properties bioactive and thermal in cassava starch biscuits. **Food Science and Technology**, v. 137, p. 110460, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110460>

MICHELETTI, J. et al. The addition of jaboticaba skin flour to muffins alters the physicochemical composition and their sensory acceptability by children. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017089, 2018. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08917>

MONTEIRO, S.S. et al. Production of probiotic passion fruit (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) drink using *Lactobacillus reuteri* and microencapsulation via spray drying. **Foods**, v. 9, n. 3, p.335, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9030335>

MORALES, P. et al. Non-fermented and fermented jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) pomaces as valuable sources of functional ingredients. **Food Chemistry**, v. 208, p. 220-227, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.011>

MOREIRA, G. E, G. et al. Ascorbic acid and anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. **Journal of food processing and preservation**, Wiley Online Library, v. 34, n. 5, p. 915–925, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00409.x>

MOSES, J. A. et al. Novel drying techniques for the food industry. **Food Engineering Reviews**, v. 6, n. 3, p. 43-55, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12393-014-9078-7>

MOURE, A. et al. Natural antioxidants from residual sources. **Food Chemistry**, Washington, v. 72, n. 10, p. 145-171, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00223-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5)

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. 3 ed. Boca Raton: CRC Press: 2007. p. 257–281.

MURUGESAN, R.; ORSAT, V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients—a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 1, p. 3-14, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0638-z>

MUZAFFAR, K. et al. Production of fruit juice powders by spray drying technology. **International Journal of advance research in science and engineering**, v. 7, n. 3, p. 59-67, 2018.

MUZAFFAR, K., & KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**, 279, 179–184, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.04.010>

NATIONAL GEOGRAPHIC. **What are jaboticaba berries? Six things you need to know**. 2020. Disponível em: < <https://www.nationalgeographic.co.uk/travel/2020/10/what-are-jaboticaba-berries-six-things-you-need-to-know>>. Acesso em: 12 out. 2022.

NOGUEIRA, G. D. R. **Estudos de Técnicas Híbridas de Desidratação de Resíduos de Acerola**. 2016, 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2016.

- NOGUEIRA, M. H. et al. Cross-linked casein micelle used as encapsulating agent for jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) phenolic compounds by spray drying. *International Journal of Dairy Technology*, v. 73, n. 4, p. 765-770, 2020. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12704>
- NETA, M. T. S. L. et al. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. *Food Research International*, v. 124, n. 7, p. 70-77, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.039>
- NEVES, N. A. et al. Identification and quantification of phenolic composition from different species of Jaboticaba (*Plinia* spp.) by HPLC-DAD-ESI/MSn. *Food Chemistry*, v. 355, p. 129605, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129605>
- NIJVELDT, R. J. et al. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, v. 74, n. 4, p. 418-425, 2001. <https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.418>
- NINDO, C. I. et al. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.). *LWT - Food Science and Technology*, v. 36, n. 5, p. 507-516, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00046-X)
- NINDO, C. I.; TANG, J. Refractance Window dehydration technology: A novel contact drying method. *Drying Technology*, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2007. <https://doi.org/10.1080/07373930601152673>
- NOWAK, D.; LEWICKI, P. P. Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 5, n. 3, p. 353-360, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.03.003>
- NUNES, L. P. et al. Drum drying process of jaboticaba pulp using corn starch as an additive. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 23, e2019166, 2020. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16619>
- OLIVEIRA, E. G. et al. Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. *Journal of Food Process Engineering*, v. 31, n. 1, p. 34-50, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00143.x>
- OLIVEIRA, G. P. et al. Origin and development of reproductive buds in jaboticaba cv. Sabará (*Plinia jaboticaba* Vell). *Scientia Horticulturae*, v. 249, p. 432-438, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.020>
- OLIVEIRA, M.I.S. et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 16, p. 310-318, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000037>
- OLIVEIRA, O.W.; PETROVICK, P.R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 20, p. 641-650, p. 641-650, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000400026>

- OMOLOLA, A. O. et al. Quality properties of fruits as affected by drying operation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 1, p. 95-108, 2015. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.859563>
- ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos**: Componentes dos alimentos e processos. 1 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294 p.
- OVERHULTS, D. G.; WHITE, G. M.; HAMILTON, H. E.; ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**, v.16, p. 112-113, 1973. <https://doi.org/10.13031/2013.37459>
- PÁDUA, H. C. et al. Iogurte sabor banana (Musa AAB, subgrupo prata) enriquecido com farinha da casca de jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba* (Vell.) Berg.). **Global Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 89-104, 2017.
- PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of nutritional science**, v. 5, e47, 2016. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin-layer**. Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 1949.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532003000200006>
- PAWAR, S. B.; PRATAPE, V. M. Fundamentals of Infrared Heating and Its Application in Drying of Food Materials: A Review. **Journal of food process engineering**, v. 40, n. 1, p. e12308, 2017. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12308>
- PERRONE, Í. T. et al. Influence of pilot spray dryer settings on moisture and water activity of whole milk powder. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 393, p. 5-9, 2013. <https://doi.org/10.5935/2238-6416.20130029>
- 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>
- PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, v. 19, p. 1297-1306, 2012.
- PIETTA, P. G. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000. <https://doi.org/10.1021/np9904509>
- PIGNATA, R. M.; OLIVEIRA, LCCB; DANTAS, S. C. Cinética de secagem da fruta physalis por irradiação infravermelha. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, p. 2010-2015, 2015. <https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeqic2015-133-32485-247105>
- PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: a review. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 1, p.1-11, 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.07.023>

PU, H. et al. Effect of relative humidity on microwave drying of carrot. *Journal of Food Engineering*. v. 190, p. 167-175, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.027>

QUEK, S. Y.; CHUCK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. *Chemical Engineering and Processing*. V. 46, n. 5, p. 386-392, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>

RABELLO, A. A. et al. Adaptive time-stepping of non-linear microwave problems. *IEEE Transactions on Magnetics*, v. 41, n. 5, p. 1584–1587, 2005. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2005.845034>

RABELLO, A. A. et al. Utilização da radiação infravermelha na secagem de amostras de banana. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 4, p. 39317-39330, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-407>

RAGHAVAN, G.S.V. et al. Control of Microwave Drying Process Through Aroma Monitoring. *Drying Technology. An International Journal*, v. 28, n. 5, p. 591-599, 2010. <https://doi.org/10.1080/07373931003788049>

RAMADAN, L. **Estudo da secagem de resíduos de acerola em tambor rotativo acoplado a micro-ondas**. 2017. 90 f. Dissertação (Programa Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

RANKELL, A.S.; LIEBERMAN, H.A.; SCHIFFMAN, R.F. 2001. Secagem. In: LACHMAN, L., LIEBERMAN, H.A., KANIG, J.L. **Teoria e prática na indústria farmacêutica**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 2001. p. 83-112.

RANJAN, R.; IRUDAYARAJ, J.; JUN, S. Simulation of infrared drying process. *Drying Technology*, v. 20, n. 2, p. 363–379, 2002. <https://doi.org/10.1081/DRT-120002547>

REYNERTSON, K. A. et al. Bioactive depsides and anthocyanins from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*). *Journal of Natural Products*, Ohio, v. 69, n. 8, p. 1228-1230, 2006. <https://doi.org/10.1021/np0600999>

REYNERTSON, K. A. et al. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. *Food Chemistry*, v. 109, n. 4, p. 883–890, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.021>

REZAEI, S. et al. Microwave power adjusting during potato slice drying process using machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 160, p. 40-50, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.03.013>

REZENDE, Y. R.R.S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: chemical, morphological and chemometric characterization. *Food Chemistry*, v. 254, p. 281-291, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, G. R.; GONZALEZ-GARCA, R.; GRAJALESLAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology: An International Journal**, v.23, n.4, p.955-973, 2005.

<https://doi.org/10.1080/DRT-200054251>

RIADH, M. H. et al. Infrared heating in food drying: an overview. **An International Journal**, v. 33, n. 3, p. 322-335, 2015. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.951124>

RICE-EVANS, C.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**, New York. v. 20, n. 7, p. 933-956, 1996. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)

ROSA, J.G. **Secagem de cenoura (*Daucus carota* L.) em microondas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

RUFINO, M. S. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>

SABAREZ, H.T.; CHESSARI, C. High quality fruit and vegetable ingredients for functional foods: modeling and optimisation of refractance window drying technology. **Unpublished Report Prepared by CSIRO for Nutradry Pty Ltd**, Brisbane, Australia, 2006.

SABLANI, S. S.; RAHMAN, M. S. Fundamentals of Food Dehydration. In: HUI, Y. H. et al. **Food Drying Science and Technology**. DEStech Publication, Inc, 2008. p. 1-42.

SAHNI, E. K.; PIKAL, M. J. Modeling of the secondary satge of freeze drying: devolopment and validation of na Excel based model. **Journal Pharmaceutical Sciences**, v. 106, n. 3, p. 779-791, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2016.10.024>

SAKAI, N.; HANZAWA, T. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 11, p. 357-362, 1994.

[https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90213-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90213-5)

SAKARE, P. et al. Infrared drying of food materials: recent advances. **Food Engineering Reviews**, v. 12, n. 3, p. 381-398, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09237-w>

SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. A. N. G. D. **Determinação das densidades de sólidos e de polpa**. CETEM/MCTI, 2007. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1019/1/Cap%202%20Densidade%20Final.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SANTOS, N. C.; SILVA, V. M. A.; RIBEIRO, V. H. A.; BARROS, S. L.; ALMEIDA, R. L. J.; LUIZ, M. R.; BESERRA, Y. A. S. **Secagem convectiva de cascas de kiwi cv. Hayward, difusividade efetiva e energia de ativação**. In: Francisco et al. (Org.). **Caderno de Ciência Pesquisa e Inovação**. EPGRAF, Campina Grande-PB, v.2, n.3, p.82-89, 2019a.



- SABLANIA, V., & BOSCO, S. J. D. Optimization of spray drying parameters for *Murraya koenigii* (Linn) leaves extract using response surface methodology, 2017 **Powder Technology**, 335, 35–41, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.05.009>
- SANGA, E.; MUJUMDAR, A. S.; RAGHAVAN, G. S. V. Principles and applications of microwave drying. **Drying technology in agriculture and food sciences**, p. 253-289, 2000.
- SANTANA, A. F.; OLIVEIRA, L. F. Aproveitamento da casca de melancia (*Curcubita citrullus*, Shrad) na produção artesanal de doces alternativos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 4, p. 363-368, 2005.
- SANTOS JÚNIOR, H.C.M. **Secagem de alimentos por micro-ondas: desenvolvimento de um protótipo de secador a vácuo, análise do processo e aplicação sobre diferentes tipos de alimentos**. 2021, 81 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos - Área de Concentração em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2021.
- SANTOS, A.B.F.M. **Secagem da polpa de jaboticaba, siriguela e umbu em camada de espuma utilizando a caseína como emulsificante**. 2022, 78 f. TCC (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química - Área de Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46242/1/SecagemdePolpa\\_Santos\\_2022.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46242/1/SecagemdePolpa_Santos_2022.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- SANTOS, M. N. G. **Avaliação da Polpa de Cagaita (*Eugenia dysenterica*) submetida ao congelamento e atomização**. 2015. 65 f. Dissertação (Programa Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) –Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- SANTOS, M.A. D. **Desenvolvimento e caracterização de microcápsulas de casca de jaboticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg)**. 2018, 49 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.
- SATO, A. C. K. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jaboticaba**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- SATO, A.C.K.; CUNHA, R.L. Effect of particle size on rheological properties of jaboticaba pulp. **Journal of food Engineering**, v. 91, n. 4, p. 566-570, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.005>
- SCHIFFMANN, R. F. Microwave and dielectric drying. In: MUJUMDAR, A.S. **Handbook of industrial drying**. Boca Raton: CRC Press, 2020. p. 345-372. <https://doi.org/10.1201/9780429289774-11>
- SENADEERA, W. et al. Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. **Journal of Food Engineering**, v. 58, n. 3, p. 277-283, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00386-2)
- SERAGLIO, S.K.T. et al. Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649-656, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.118>

SHAHIDI, F.; HAN, X.Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993.

<https://doi.org/10.1080/10408399309527645>

SHISHIR, M.R.I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, p. 49-67, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

SILVA, D, I. S. et al. Changes of antioxidant constituents in pineapple (*Ananas comosus*) residue drying process. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 557 – 572, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.001>

SILVA, D. O. **Otimização da separação sólido-líquido em hidrociclones mediante modificações geométricas**. 2012. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SILVA, D. O. et al. Optimization of the design and performance of hydrocyclones by Differential Evolution technique. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, v. 61, p. 1-7, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.07.002>

SILVA, F.A. et al. Impacto da secagem com microondas sobre o perfil sensorial de amêndoas de noz macadâmia. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 553-561, 2007.

<https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300020>

SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic Properties related to the drying of “Cabacinha” pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.

<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n2p174-180>

SILVA, I.D. A fruticultura e sua importância econômica, social e alimentar. **ANAIS SINTAGRO**, Ourinhos-SP, v. 11, n. 1, p. 3-10, 2019.

SILVA, P. B. **Secagem de resíduos de frutas em secador rodo-aerado**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

SILVA, P. I. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 538-544, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.039>

SILVA, J. de A.; MACIEL, M. I. S.; MOURTA, N. P. de; JÚNIOR, M. da S, MELO, J. V. de AZOUBEL, P. M.; MELO, E. de A. Influência das condições de processo na secagem por atomização polpa de umbu. **Journal of Bioprocessing & Biotechnology**, v. 4, n.4, p.1-9, 2014.

SILVA, N. C. **Uso de metodologias alternativas na secagem de diferentes matérias visando a preservação de seus compostos bioativos**. 2019. 209 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SILVEIRA, S. T. et al. Optimization of phycocyanin extraction from *Spirulina platensis* using factorial design. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 8, p. 1629-1634, 2007.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.050>

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152–178, 1999.  
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)

SIMÕES, C. et al. **Farmacognosia da planta ao medicamento**. 2<sup>a</sup> ed. rev. Porto Alegre/ Florianópolis: Ed Universidade /UFRGS/ Ed. Universidade/ UFSC, 2000.

SOARES, M. et al. Compostos fenólicos e antioxidantes da casca de uvas Niágara e Isabel. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 1, p. 59-64, 2008.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000100013>

SOARES, D. S. C.; COSTA, D. G.; SANTOS, J. T. S.; ABUD, A. K. S.; NUNES, T. P.; OLIVEIRA Júnior. The use of performance indicators for evaluating models of drying jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.): Page, Midilli, and Lewis. **International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering**, v. 8, n. 2, 2014.

SOARES, C T. **Secagem da polpa de pequi por liofilização**. 2018. 96 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade Federal de Campinas, Campinas, 2018.

SOUSA, M. S. M. L. et al. Efeito da temperatura de secagem sobre a bebida mista de polpa de manga e soro lácteo. **Revista Higiene Alimentar**, Búzios - RJ, v. 29, n. 242 - 243, p. 4538 – 4543, mar./abr., 2015.

SOUZA, A.V. et al. **Aplicação da secagem por spray drying para a produção de extratos vegetais secos**. 2013. Disponível em: <<http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoanterior/Sumario/2013/downloads/2013/APLICA%C3%87%C3%83O%20DA%20SECAGEM%20POR%20SPRAY%20DRYING%20PARA%20A%20PRODU%C3%87%C3%83O%20DE%20EXTRATOS%20VEGETAIS%20SECOS.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2022.

SOUZA, R. B. **Acúmulo e distribuição de minerais no fruto de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Berg cv. ‘Sabará’) em desenvolvimento**. 1992. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade de Viçosa, Viçosa, 1992.

STORCK, C. R.; BASSO, C.; FAVARIN, F. R.; RODRIGUES, A. C. Qualidade microbiológica e composição de farinhas de resíduos da produção de suco de frutas em diferentes granulometrias. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 18, n. 4, p. 277-284, 2015. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.1615>

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos** 4.ed. Campinas: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação, Universidade Estadual de Campinas, 2011.

TEIXEIRA, L.N; STRINGUETA, P; C; OLIVEIRA, F.A. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Revista Ceres**, v. 55, n. 4, p. 297- 304. 2008.

TEIXEIRA, N. C. **Desenvolvimento, caracterização físico-química e avaliação sensorial de suco de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (vell) berg)**. 2011. 137 p. Dissertação (Mestrado em Farmácia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

TERCI, D.B.L. **Aplicações analíticas e didáticas de antocianinas extraídas de frutas**. 2004. 213 p. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Food Science and Technology**, v. 29, n.2, p. 444-450, 2009.  
<https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000200034>

TONON, R. V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3-4, p. 215- 221, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.009>

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) Powder Produced by Spray Drying. **Food Science and Technology**, v. 88, n.3, p. 411-418, 2008.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>

TORALLES, R. P. et al. Determinação das constantes cinéticas de degradação do ácido ascórbico em purê de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 18-23, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000100004>

TURCHIULI, C. et al. Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. **Powder Technology**, v. 208, p. 433-440, 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.040>

VALDUGA, E.; LIMA, L.; DO PRADO, R.; PADILHA, F.F.; TREICHEL, H. Extração, secagem e atomização e microencapsulamento de antocianinas do bagaço de uva Isabel (*Vitis labrusca*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.32, p. 1568-1574, 2008.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500032>

VOLP, A.C.P. et al. Flavonóides antocianinas: características e propriedades na nutrição e saúde. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, v. 23, p. 141-149, 2008.

WRAY, D.; RAMASWAM, H. S. Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. **An International Journal**, v. 33, n. 7, p. 769-783, 2015.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2014.985793>

WU, S.B. et al. Phytochemistry and health benefits of jaboticaba, an emerging fruit crop from Brazil. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 148-159, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.021>

ZHANG, M. et al. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1239-1255, 2017. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.979280>

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food chemistry**, v. 64, n. 4, p. 555-559, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

ZHOU, J. et al. Application and future perspective of CRISPR/Cas9 genome editing in fruit crops. **Journal of integrative plant biology**, v. 62, n. 3, p. 269-286, 2020.

<https://doi.org/10.1111/jipb.12793>

ZIELINSKA, M. et al. A multi-stage combined heat pump and microwave vacuum drying of green peas. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 3, p. 347-356, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.047>

ZUCOLO, M. et al. **Fruticultura Tropical: Diversificação e consolidação**. Alegre - ES: CAUDES, 2015. 186 p.

## APÊNDICE - CINÉTICA DE SECAGEM

### 1 INTRODUÇÃO

A secagem por meio da radiação infravermelho, como o nome sugere, baseia-se no uso da radiação infravermelha, que consiste numa porção do espectro eletromagnético responsável pelo efeito do aquecimento solar (KRISHNAMURTHY et al., 2008; RANJAN et al., 2002). Essa técnica de secagem caracteriza-se pela ação da radiação infravermelha de comprimento de onda, a qual é emitida de uma fonte e interage com a estrutura interna do objeto submetido a secagem. Essa interação resulta em aumento da temperatura e contribui para evaporação da água presente na amostra. Quanto à aplicabilidade, a secagem por infravermelho tem sido usada, sobretudo, para secagem de produtos que apresentem teor de umidade significativo (CELMA et al., 2009).

De acordo com Krishnamurthy et al. (2008), todos os corpos apresentando temperatura superior ao zero absoluto possuem a capacidade de emitir radiação situada no espectro infravermelho. Este espectro pode ser dividido em faixas em função do comprimento da onda de radiação emitida ( $\lambda$ ), conforme apresentado na Figura 47. Na faixa do infravermelho próximo (NIR), o comprimento da onda de radiação emitida varia entre  $\lambda = 0,78$  a  $1,4 \mu\text{m}$ . Nas faixas do Infravermelho médio (MIR) e do infravermelho distante (FIR), os comprimentos da onda estão situados entre  $\lambda = 1,4$  a  $3 \mu\text{m}$  e  $\lambda = 3$  a  $1000 \mu\text{m}$ , respectivamente (KRISHNAMURTHY et al., 2008; RIADH et al., 2014).

Figura 47 - Faixas de espectro infravermelho em função do comprimento da onda de radiação emitida.



Fonte: Adaptado de Pasquini et al. (2003).

Quando ocorre a emissão da radiação infravermelha e essa é direcionada à um produto apresentando teor considerável de umidade, parte da energia emitida pode ser refletida, outra parte pode ser absorvida e parte é transmitida através do produto. A incidência da radiação sobre a superfície do alimento também causa alterações nos estados vibracionais, rotacionais e eletrônicos de átomos e moléculas (AGHBASHLO, 2016; SAKARE et al., 2020).

Após a penetração da radiação infravermelha nos alimentos, as moléculas que constituem o alimento vibram em frequência que varia entre 60.000 e 150.000 MHz. Como resultado, ocorre o atrito entre as moléculas, o qual resulta em um rápido aquecimento no interior do alimento. Visto que a radiação infravermelha é transferida do elemento de aquecimento para a superfície do alimento sem que ocorra o aquecimento do ar circundante, considera-se que a radiação infravermelha possibilita a secagem sem que seja necessário um meio para a sua própria propagação (SAKARE et al., 2020).

Dentre os fatores que contribuíram para a popularidade da técnica de secagem por radiação infravermelha, destacam-se a alta eficiência térmica e a rápida relação entre o tempo de resposta e a taxa de secagem quando em comparação aos métodos convencionalmente empregados no aquecimento e secagem. Estes fatores contribuíram para que a radiação infravermelha fosse amplamente empregada no processamento térmico na indústria de alimentos. Logo, ao longo dos últimos anos, a radiação infravermelha tornou-se uma técnica importante em processos de pasteurização, secagem e frituras na indústria. Contudo, é relevante mencionar que o emprego da secagem por infravermelho na indústria possui eficiência quando o processo de secagem é adequadamente ajustado (RIADH et al., 2014; SAKAI; HANZAWA, 1994).

As principais vantagens associadas ao uso da secagem por infravermelho são o baixo tempo requerido para realização da secagem, a maior economia no uso da energia e a qualidade do produto final. A secagem por infravermelho também permite maior uniformidade do produto e da temperatura durante o processo, resultando em coeficientes de transferência de calor altos e tem sido associada a economia de espaço e baixo impacto ambiental. Além disso, essa técnica tem sido considerada vantajosa devido ao menor custo quando comparado aos métodos de secagem a vácuo e por micro-ondas (SABUKHALIFEH; DHIB; FAYED, 2005; AKARE et al., 2020).

As diversas vantagens associadas ao uso dessa técnica contribuíram para que a secagem por infravermelho fosse considerada promissora para obtenção de produtos alimentícios secos

com elevada qualidade. Dentre os produtos, destacam-se aquelas obtidos a partir de grãos, vegetais e frutos (SAKARE et al., 2020).

Embora sejam escassos os estudos sobre a secagem da jabuticaba a partir da técnica de secagem por radiação infravermelha, a secagem da fruta *physalis* a partir dessa demonstrou que o método empregado é eficiente, sendo também considerado um método simples pelos autores do estudo (PIGNATA; OLIVEIRA; DANTAS, 2015). De modo semelhante, Rabello et al. (2021) constataram que o uso da radiação infravermelha resultou na secagem rápida e eficiente ao analisar o uso dessa técnica na secagem de banana prata.

Quanto à limitação no uso da radiação infravermelha no aquecimento e secagem, destaca-se a limitação na aplicabilidade da técnica devido às diferenças na capacidade de penetração da radiação nos diferentes materiais. Essa técnica tem sido limitada na secagem de grãos, por exemplo, devido ao aquecimento desuniforme dessas estruturas. Geralmente, grãos submetidos a radiação infravermelha apresentam rápido aquecimento das camadas mais superficiais dos grãos, o que não ocorre de modo uniforme nas camadas mais internas (PAWAR; PRATAPE, 2017).

Neste processo, sabe-se que a transmissão de energia pode variar em função do teor de umidade do material submetido à radiação. Quando um determinado alimento é submetido a radiação infravermelha, o aquecimento e/ou a secagem ocorre, inicialmente, na superfície externa do material, no caso de sólidos. Além disso, a energia gerada pode adentrar, com alguma profundidade, o interior do material submetido a radiação no caso de materiais de natureza porosa ou úmidos (RIADH et al., 2014). Ademais, de acordo com Laohavanich et al. (2008), quando os raios infravermelhos penetram a amostra úmida, a temperatura no interior do material aumenta, mas sem que ocorra o aquecimento do ar circundante. Como consequência, verifica-se que a taxa de difusão da água aumenta através do material e ocorre alterações nas propriedades de radiação em função do teor de umidade, o qual difunde-se no sentido do material para o ar (LAOHAVANICH et al., 2008).

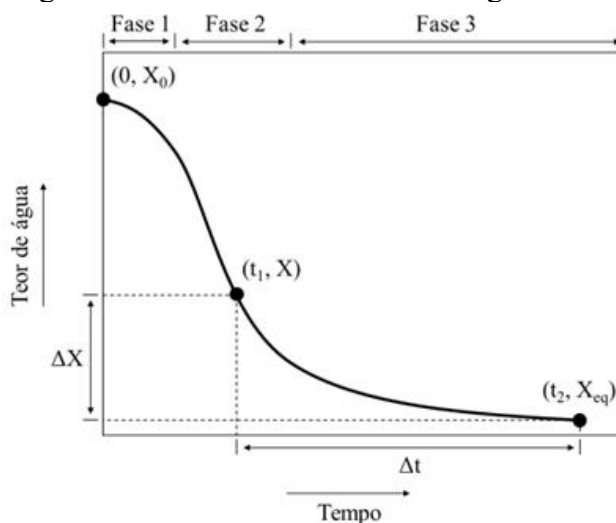
Um aspecto importante sobre a secagem, é que a análise do comportamento de um determinado alimento exposto a secagem é, geralmente, realizada a partir do uso de curvas de cinética. Essas curvas são representações gráficas que permitem relacionar o teor de água contida no alimento e o tempo demandado na operação (JAIN; PATHARE, 2007). O estudo da cinética permite estabelecer o maior entendimento através de equações que relacionem a umidade ou até mesmo adimensionais de umidade, em função do tempo empregado em diferentes períodos de secagem (SILVA, 2019).



A primeira fase na cinética de secagem compreende o aquecimento inicial, visto que a temperatura superficial do alimento antes da secagem propriamente dita é mais fria que a temperatura do meio, torna-se essencial que o alimento atinja valores próximos à temperatura de bulbo úmido. Em seguida, ocorre a segunda fase, a qual compreende o início da evaporação da água presente nas camadas mais superficiais, o que resulta na migração de uma quantidade equivalente de água líquida do interior para a superfície do alimento. Essa migração possibilita que a superfície seja mantida constantemente umedecida (SANTOS JÚNIOR, 2021).

A terceira e última etapa compreende a interrupção do balanceamento entre a água em evaporação e aquela que está migrando do interior do alimento para a superfície. Essa interrupção ocorre em função do esgotamento das reservas de água contida nos alimentos e o equilíbrio é estabelecido quando os valores de temperatura são próximos a temperatura de bulbo seco (SANTOS JÚNIOR, 2021). Uma curva típica de cinética de secagem de alimentos está representada na Figura 48.

Figura 48 - Curva de cinética de secagem.



Fonte: Santos Júnior (2021).

Na secagem de produtos alimentícios, o conhecimento sobre cinética de secagem é relevante para projetar, simular e otimizar processos, pois a cinética de secagem desempenha grande importância para compreensão dos fatores que afetam o processo de remoção de umidade de produtos alimentícios diversos. Esse conhecimento é fundamental para a seleção de parâmetros adequados para secagem, o controle e a otimização do processo e a manutenção da qualidade do produto alimentício (DELFIYA et al., 2022).

Chen et al. (2015) afirmaram que a cinética de secagem permite analisar o processo de transferência de calor e massa durante a secagem, sendo, por isso, uma ferramenta útil na otimização do processo de secagem. Além disso, a aplicação de modelos matemáticos e a realização de simulações de curvas de secagem em condições distintas pode resultar em um melhor controle do processo de remoção de umidade de produtos alimentícios diversos (KHOSHTAGHAZA et al., 2015).

Diante disso, na literatura científica, alguns modelos têm sido usados para relacionar o efeito das condições do ambiente do secador, sobretudo umidade, temperatura do ar e vazão no processo, com as características do produto final obtido após a secagem (ÇAKMAK; YILDIZ, 2011). E, de acordo com Senadeera et al. (2003), nesses estudos, geralmente, modela-se curvas de secagem a partir da definição de constantes de taxa de secagem, as quais baseiam-se na cinética de primeira ordem.

Em estudo conduzido por Nowak e Lewicki (2004) foi possível observar que a cinética de secagem de fatias de maçã na secagem por infravermelho foi dependente da distância entre a superfície de fatia irradiada pelo calor e os emissores. Constatou-se ainda que a cinética de secagem foi inversamente proporcional à velocidade do ar e a distância. E, embora ambas as superfícies das fatias participassem da evaporação, a evaporação de água era maior na fatia irradiada por calor.

A cinética de secagem e o ajuste aos modelos matemáticos foi testado para compreender o comportamento do fenômeno de secagem da casca de jabuticaba em estudo desenvolvido por Alves et al. (2021). Os autores constataram que a umidade de equilíbrio apresentou comportamento inversamente proporcional ao incremento na temperatura de secagem. Além disso, constatou-se um período de taxa decrescente nas curvas de cinética de secagem da casca de jabuticaba, o que evidencia a influência da temperatura do ar de secagem. Nesse estudo também foi possível verificar que o modelo de Midilli destacou-se dentre os demais modelos testados na predição do comportamento da cinética de secagem de cascas de jabuticaba (ALVES et al., 2021).

Marsiglia et al. (2021) também estudaram a cinética de secagem de cascas de jabuticaba e sua modelagem matemática e verificaram que para todos os modelos testados, constatou-se aumento da constante de secagem “k” em função do aumento da temperatura de secagem. Ademais, o aumento da temperatura de secagem também resultou em incremento sobre o parâmetro “n” no modelo de Newton. E, assim como verificado por Alves et al. (2011), os autores também verificaram que o modelo matemático de Midilli permitiu descrever melhor o

processo de secagem da casca dos frutos de jabuticaba adotando as temperaturas de 45, 50 e 55 °C.

## 2 METODOLOGIA

Foi utilizado um analisador de umidade por infravermelho da marca Gehaka, modelo IV2500 (Figura 49), para realizar a cinética de remoção de umidade. O equipamento estava instalado no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias, na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas.

Figura 49 - Analisador de umidade por infravermelho.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Foram realizados experimentos submetendo a jabuticaba à diferentes temperaturas ao longo do tempo, avaliando os efeitos dessas duas variáveis na cinética de secagem e umidade final. Foi utilizado cerca de 15 g para cada experimento, sendo que as polpas foram submetidas a variações de temperatura de 75, 90, 105 e 120°C na opção *autodry* até a taxa de secagem ser inferior a 0,1% por minuto.

Para a avaliação dos modelos da cinética de secagem foi determinado o comportamento do adimensional de umidade (MR) ao longo do tempo, o qual era definido através da Equação 1:

$$MR = (M - Meq)/(Mo - Meq) \quad (1)$$

Em que MR é o adimensional de umidade, M é a umidade do material em qualquer tempo, M<sub>o</sub> a umidade inicial e Meq é a umidade de equilíbrio.

Foram verificadas na literatura modelos matemáticos para descrever o comportamento, cinético conforme exposto na Tabela 10. O melhor modelo foi definido de acordo com o maior coeficiente de correlação ( $R^2$ ), sendo a análise estatística realizada pelo *software* Statistica.

Tabela 10 - Modelos de cinética de secagem da literatura.

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	<b>Referência</b>
$MR = \exp(-kt)$	(2)	Lewis (1921)
$MR = \exp(-kt^n)$	(3)	Page (1949)
$MR = \exp[-(kt)^n]$	(4)	Overhults et al. (1973)
$MR = A \exp(-kt)$	(5)	Brooker et al. (1974)
$MR = A \exp(-kt) + 1/9 \exp(-kt)$	(6)	Henderson; Henderson (1978)
$MR = A \exp(-kt t^n) + bt$	(7)	Midilli (2002)

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após obtenção e análise dos dados de cinética de secagem obtidos por infravermelho, realizou-se as conversões dos valores para adimensionais de umidade (MR) e foram realizados testes em modelos matemáticos pela técnica de regressão não linear para verificação do melhor modelo (conforme Tabela 10) para representar o comportamento de transferência de calor e massa durante a desidratação por infravermelho.

Foram estudados os modelos mais comuns na literatura científica para secagem de alimentos, sendo eles Lewis (1921), Page (1949), Overhults (1973), Brooker et al. (1974), Midilli (2002) e Henderson e Henderson (1968), e foi utilizado o método dos mínimos quadrados para o ajuste das curvas de secagem. O modelo que melhor se ajustou aos pontos experimentais foi o de Midilli (2002), sendo então escolhido para realizar a representação matemática do comportamento da secagem, devido aos maiores valores de  $R^2$ , conforme tabela 11. Alves et al. (2011) também verificar que o modelo de Midilli (2002) foi o mais adequado para descrever o comportamento dos dados na secagem de cascas de jaboticaba.

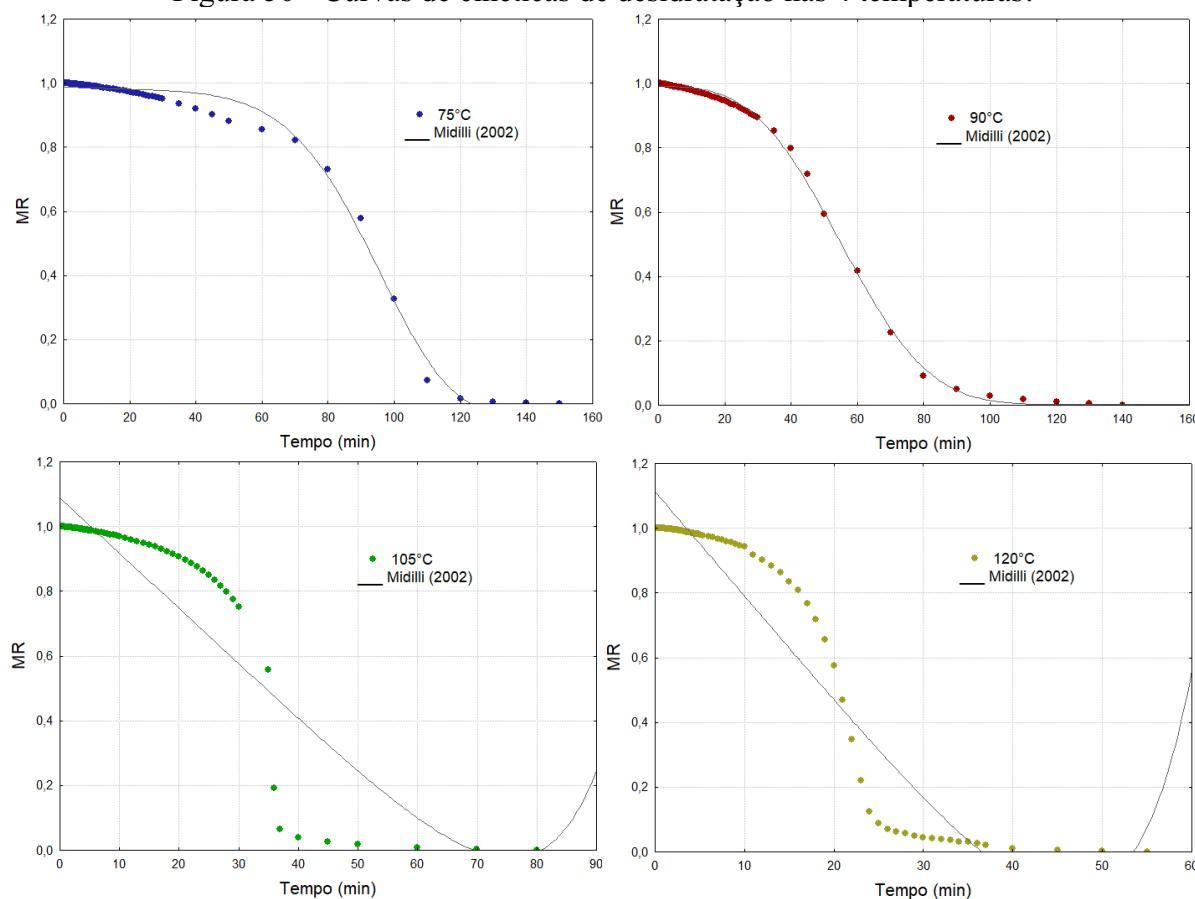
Tabela 11 - Coeficiente do modelo de Midilli (2002) na secagem da polpa de jabuticaba no infravermelho.

Temperatura	K	n	A	B	R <sup>2</sup>
75°C	0	5,5022	0,9877	-0,0003	0,9924
90°C	$3,00 \times 10^{-6}$	3,0970	0,9896	$1,2 \times 10^{-5}$	0,9987
105°C	0	6,6720	1,0881	-0,0171	0,8227
120°C	0	5,3202	1,1133	-0,0323	0,9249

Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Na figura 50 está representado graficamente o comportamento cinético da desidratação da polpa de jabuticaba por infravermelho.

Figura 50 - Curvas de cinéticas de desidratação nas 4 temperaturas.



Fonte: Dados da pesquisa (2021).

Assim como nesse trabalho, Soares et al. (2014), também verificaram que o modelo Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais ao realizar a cinética de secagem da

jaca e Silva et al. (2016), durante a secagem de frutos de pimenta cabacinha, verificaram que o modelo de Midilli também foi o utilizado para prever as curvas de secagem.