



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

Mário Luis Zocatelli

**DESIDRATAÇÃO DE SUCO DE ACEROLA VERDE POR SPRAY DRYER COM
DIFERENTES AGENTES CARREADORES**

Florianópolis

2024

Mário Luis Zocatelli

**DESIDRATAÇÃO DE SUCO DE ACEROLA VERDE POR SPRAY DRYER COM
DIFERENTES AGENTES CARREADORES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

Orientador: Prof. Giustino Tribuzi, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra

Zocatelli, Mário Luis
DESIDRATAÇÃO DE SUCO DE ACEROLA VERDE POR SPRAY DRYER
COM DIFERENTES AGENTES CARREADORES / Mário Luis Zocatelli
; orientador, Giustino Tribuzi, 2024.
86 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Ciência dos Alimentos. 2. Acerola. 3. Spray dryer.
4. Caracterização físico-química. 5. Isotermas de sorção.
I. Tribuzi, Giustino. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência dos
Alimentos. III. Título.

Mário Luis Zocatelli

**DESIDRATAÇÃO DE SUCO DE ACEROLA VERDE POR SPRAY DRYER COM
DIFERENTES AGENTES CARREADORES**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. João Borges Laurindo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Katia Rezzadori, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Aline Iamin Gomide
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Mestre em Ciência dos Alimentos.

Prof. Dr. Pedro Luiz Manique Barreto
Coordenador do Programa

Prof. Dr. Giustino Tribuzi
Orientador

Florianópolis, 2024.

Dedico, com todo meu carinho, à minha esposa Adriana e à minha amada filha Marina, pelo incentivo e amor que sempre me impulsionam a buscar meus objetivos. Ambas foram minha inspiração nos momentos de dificuldade para seguir focado neste presente trabalho, e quero ser uma referência para que minha filha possa seguir o caminho do conhecimento e sabedoria.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu sabedoria e força para buscar meus objetivos.

À minha família, por entenderem e apoiarem meus sonhos.

Ao Prof. Dr. Giustino, pela orientação, paciência, parceria e por todos os ensinamentos que tornaram possíveis a conclusão desta dissertação.

À empresa Givaudan, que me acolheu, apoiou, incentivou e sempre acreditou no meu potencial.

Aos meus colegas de trabalho, Eduardo Epting, Igor Concilio, Gabrielly Mendes e Marcos Contri, pelo apoio, companheirismo e troca de experiências que contribuíram para evolução do trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência dos alimentos, pela oportunidade de cursar o Mestrado.

Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade de aprender e conhecer a beleza libertadora do intelecto para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer (Albert Einstein).

RESUMO

A acerola é uma fruta tropical de alto valor nutritivo, sendo uma das mais importantes fontes naturais de vitamina C. O ácido ascórbico é estável na forma de pó, entretanto fatores ambientais, tais como temperatura, pH, oxigênio, luminosidade, íons metálicos, UV afetam a sua estabilidade. A técnica de encapsulação pode ser o método mais adequado para incrementar a estabilidade da vitamina C. A secagem por atomização (*spray drying*) é um processo que resulta em produtos com boa qualidade, no entanto, tais pós podem apresentar alguns problemas em suas propriedades e desafios para realizar esta operação, podendo grudar na parede da câmara do secador durante a secagem, levando a um baixo rendimento do produto e problemas operacionais. Uma alternativa utilizada para secar tais produtos tem sido a adição de aditivos de alta massa molecular ao produto antes de ser atomizado, a fim de aumentar sua temperatura de transição vítrea, melhorando assim o processo de secagem e maior proteção frente à vitamina C, bem como as propriedades físico-químicas do pó. Para tanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adição de diferentes agentes carreadores (Maltodextrina DE 5, Goma arábica, Amido modificado N-LOK, Promitor[®], Nutriose[®] e Maltodextrina DE 2) sobre as características físico-químicas, e microscópicas do suco de acerola verde, desidratado por *spray dryer*. Dessa forma, foram realizadas as seguintes análises: Umidade, atividade de água, tamanho de partícula, solubilidade, tempo de dispersão, cor, teor de vitamina C e isotermas de sorção. Os pós de polpa de acerola, apresentaram uma média de umidade de $5,013 \pm 0,114$ g/100g, atividade de água $0,332 \pm 0,009$ e a média do tamanho de partícula foi de $23,725 \pm 1,250$ μm . Em relação à caracterização física, os pós tiveram um percentual médio de solubilidade de $87,561 \pm 4,497\%$, o tempo médio de dispersão ficou em $241,2 \pm 42,883$ seg, densidade aparente média $558,0 \pm 2,700$ g/L. Os parâmetros de cor, pela escala CIELab, apresentou média do padrão L* de $90,143 \pm 0,426$. O valor médio de a* foi de $3,601 \pm 0,156$, já o valor médio do parâmetro b* foi de $23,508 \pm 0,541$. No aspecto de caracterização funcional, o teor médio de vitamina C foi de $18,526 \pm 0,039\%$. Os resultados da análise de DSC revelou que a amostra usando goma arábica, apresentou a maior Tg, quando comparada aos outros tratamentos. As isotermas de sorção de umidade das amostras foram característica de produtos higroscópicos, revelando uma curva característica do tipo III, segundo a classificação de Brunauer. Além disso, a análise de modelagem usando o modelo GAB sugere que a amostra controle apresentou ligações mais fortes entre as moléculas e os sítios de ligação, obtendo o valor mais alto do parâmetro C, já para constante K, a amostra P, com adição de Maltodextrina, foi encontrado o maior valor. Ambas as amostras com maltodextrina apresentaram menor valor de umidade de equilíbrio na isoterma de sorção. Tendo como base, os parâmetros analisados as amostras com Maltodextrina e Goma arábica apresentaram desempenho superior.

Palavras-chave: Acerola, *spray-dryer*, carriers, caracterização físico-química, isotermas de sorção.

ABSTRACT

Acerola is a tropical fruit with high nutritional value and is one of the most important natural sources of vitamin C. Ascorbic acid is stable in powder form, but environmental factors such as temperature, pH, oxygen, light, metal ions and UV affect its stability. The encapsulation technique may be the most suitable method for increasing the stability of vitamin C. Spray drying is a process that results in good quality products, however, these powders can present some problems in their properties and challenges in carrying out this operation, as they can stick to the wall of the dryer chamber during drying, leading to low product yields and operational problems. An alternative used to dry such products has been to add high molecular mass additives to the product before it is atomized, in order to increase its glass transition temperature, thus improving the drying process and greater protection against vitamin C, as well as the powder's physical and chemical properties. The aim of this study was to evaluate the influence of the addition of different carrier agents (Maltodextrin DE 5, Gum Arabic, Modified Starch N-LOK, Promitor®, Nutriose® and Maltodextrin DE 2) on the physicochemical and microscopic characteristics of green acerola juice dehydrated by spray dryer. The following analyses were carried out: moisture, water activity, particle size, solubility, dispersion time, color, vitamin C content and sorption isotherms. The acerola pulp powders had an average moisture content of 5.013 ± 0.114 g/100g, water activity of 0.332 ± 0.009 and an average particle size of 23.725 ± 1.250 μm . In terms of physical characterization, the powders had an average solubility percentage of $87.561 \pm 4.497\%$, the average dispersion time was 241.2 ± 42.883 sec, and the average apparent density was 558.0 ± 2.700 g/L. The color parameters, using the CIELab scale, showed an average L^* standard of 90.143 ± 0.426 . The average a^* value was 3.601 ± 0.156 , while the average b^* value was 23.508 ± 0.541 . In terms of functional characterization, the average vitamin C content was $18.526 \pm 0.039\%$. The results of the DSC analysis showed that the sample using gum arabic had the highest T_g compared to the other treatments. The moisture sorption isotherms of the samples were characteristic of hygroscopic products, revealing a characteristic type III curve, according to Brunauer's classification. In addition, the modeling analysis using the GAB model suggests that the control sample showed stronger bonds between the molecules and the binding sites, obtaining the highest value for the C parameter, while for the K constant, the P sample, with the addition of maltodextrin, was found to have the highest value. Both samples with maltodextrin showed a lower equilibrium moisture value in the sorption isotherm. Based on the parameters analyzed, the samples with maltodextrin and gum arabic showed superior performance.

Keywords: Acerola, spray-dryer, carriers, physicochemical characterization, sorption isotherms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estruturas do ácido L-ascórbico e seus isômeros.	21
Figura 2 – Estrutura espacial do Ácido ascórbico.....	21
Figura 3 – Interação entre as hidroxilas na molécula do Ácido Ascórbico por ligação de hidrogênio.	22
Figura 4 – Oxidação do ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico e ácido dicetogulônico.	23
Figura 5 – Desenho ilustrativo de um <i>Spray Dryer</i> industrial.	27
Figura 6 – Representação esquemática das mudanças físicas da gota durante a secagem em <i>spray drying</i>	28
Figura 7 – Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso para um material amorfo.	35
Figura 8 - O papel da temperatura de transição vítrea (T_g) no controle do <i>caking</i> na secagem por <i>spray drying</i>	36
Figura 9 – Demonstração da zona de pegajosidade em relação à transição vítrea em materiais amorfos.	38
Figura 10 – Determinação da atividade crítica de água (a_{wc}) e do teor crítico de água (X_c) para produtos alimentícios desidratados, com base no efeito da adsorção de água e temperatura de transição vítrea.....	40
Figura 11 – Isoterma típica de sorção de umidade.....	41
Figura 12 – Suco concentrado clarificado de acerola.	42
Figura 13 – <i>Spray Dryer</i> , marca GEA, modelo Niro mobile Minor Type PSR, Dinamarca (A), Coloetor de partículas secas (B).	43
Figura 14 – Fluxograma do procedimento experimental.	44
Figura 15 - Fluxograma ilustrativo com as etapas experimentais básicas dos experimentos realizados.	46
Figura 16 - Esquema do dispositivo utilizado para o teste de solubilidade.	49
Figura 17 – Aparato para medir o tempo de dispersão.	49
Figura 18 – Coordenadas colorimétricas, sistema CIELab.	50
Figura 19 – Aparato para determinação de ângulo de repouso estático e velocidade de escoamento.	51
Figura 20 – Aparato para ajuste de obscurecência através do controle do vácuo. ..	52

Figura 21 - Imagens, Estereografias e Micrografia Eletrônica de Varredura (100 e 1000x) do pó da polpa de acerola com diferentes *carriers*. 62

Figura 22 - Isotermas de sorção de umidade da polpa de acerola desidratada. Dados experimentais: P (Δ), T1(\diamond), T4 (\circ) e T5 (\square). As curvas de ajuste do modelo GAB são representadas por uma linha contínua.67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores de pH, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de acerolas, segundo diferentes autores.....	19
Quadro 2 - Características de acerolas em diferentes estádios de maturação.....	20
Quadro 3 – Propriedades Físicas do ácido L-ascórbico.....	22
Quadro 4 – Porcentagem de açúcares e ácido ascórbico no suco de acerola verde..	29
Quadro 5 – Temperatura de transição vítrea de açúcares e ácidos orgânicos.....	30
Quadro 6 – Relação da transição vítrea dos diferentes agentes careadores utilizados.	32
Quadro 7 – Relação entre diferentes níveis de DE, massa molecular e Tg.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análises físico-químicas do suco de acerola verde clarificado concentrado.	42
Tabela 2 – Composição das suspensões: uma amostra controle (P) e 5 testes.....	45
Tabela 3 - Identificação das amostras.	46
Tabela 4 – Atividade de água de soluções salinas saturadas.....	53
Tabela 5 – Dados de pH, viscosidade da suspensão e sólidos solúveis (°Brix) do pó da polpa de acerola com diferentes <i>carriers</i>	55
Tabela 6 – Dados de umidade, a_w , viscosidade da suspensão, tamanho de partícula e sólidos solúveis (°Brix), do pó da polpa de acerola com diferentes <i>carriers</i>	56
Tabela 7 - Dados de solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente e ângulo de repouso do pó da polpa de acerola com diferentes <i>carriers</i>	58
Tabela 8 – Parâmetros de cor do pó da polpa acerola com diferentes <i>carriers</i>	60
Tabela 9 - Temperatura de transição vítrea do pó da polpa de acerola com diferentes carreadores - início “Ti”, ponto médio “Tg” e ponto final “Tf”-.	63
Tabela 10 – Teor de ácido ascórbico, em porcentagem, do pó da polpa acerola com diferentes <i>carriers</i>	65
Tabela 11 - Parâmetros do modelo GAB ajustado aos dados experimentais de amostras secas de acerola condicionadas em diferentes umidades relativas.	69

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.1.1	Objetivos específicos.....	18
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	ACEROLA	18
3.1.1	Ácido Ascórbico	20
3.1.1.1.1	Rotas de degradação de vitamina C.....	24
3.2	SECAGEM	25
3.2.1	<i>Spray Dryer</i>	27
3.3	CARACTERÍSTICAS DOS CARRIERS DE SECAGEM.....	30
3.4	AGENTES CARREADORES.....	31
3.4.1	Amido Modificado (OSA)	32
3.4.2	Goma Arábica	32
3.4.3	Maltodextrina.....	33
3.4.4	Fibras	34
3.5	PRODUTOS DESIDRATADOS.....	34
3.5.1	Temperatura de Transição Vítreá	35
3.5.2	Atividade de água	38
3.5.3	Isotermas de Sorção.....	40
4.	MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1	MATÉRIAS-PRIMAS.....	42
4.2	DISPOSITIVO EXPERIMENTAL (<i>SPRAY DRYER</i>).....	43
4.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	44
4.3.1	Experimentos.....	45
4.3.2	Preparo das amostras	45

4.3.3	Parâmetros utilizados no Spray dryer	46
4.4	DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS	47
4.4.1	pH	47
4.4.2	Sólidos solúveis (° Brix)	47
4.4.3	Sólidos totais	48
4.4.4	Viscosidade	48
4.4.5	Umidade	48
4.4.6	Atividade de água	48
4.4.7	Solubilidade	48
4.4.8	Tempo de dispersão	49
4.4.9	Colorimetria	50
4.4.10	Ácido Ascórbico	50
4.4.11	Densidade aparente	51
4.4.12	Ângulo de repouso	51
4.4.13	Tamanho de Partícula	52
4.4.14	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	53
4.4.15	Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)	53
4.4.16	Isotermas de sorção	53
4.4.17	Análise estatística	54
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS SUSPENSÕES	55
5.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	56
5.3	COR	60
5.4	MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS	62
5.5	CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)	63
5.6	CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL	65
5.7	ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE	67

6.	CONCLUSÃO.....	72
-----------	-----------------------	-----------

DIAGRAMA CONCEITUAL

Por quê?

- Na literatura, há uma escassez de estudos abordando o uso de diferentes *carries* para a desidratação de suco de acerola verdes, com elevados teores de ácido ascórbicos.
 - Não foram encontrados estudos sobre o impacto da composição de acerola desidratada na transição vítrea do produto,.

O que já foi publicado na literatura?

- Alguns trabalhos já foram publicados sobre o encapsulamento e o comportamento dos nutrientes e a estabilidade do ácido ascórbico após a secagem.

Hipóteses da pesquisa

- Diferentes *carriers* geram impacto na transição vítrea em acerola verde desidratada;
- Possível entender a correlação dos *carriers* e dos parâmetros nas características físico-química, higroscópica e microscópica;
-

Experimentos

- A produção de desidratado de suco de acerola verde foi realizada usando diferentes *carriers* na secagem, utilizando os mesmos parâmetros e avaliando os impactos nas características físico-química, higroscópica e microscópica.

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos segmentos da economia brasileira que mais tem se destacado nos últimos anos e continua em plena ascensão tanto no cultivo de frutas in natura, quanto na industrialização de sucos e néctares, sendo a região nordeste referência em produtividade. O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, perdendo apenas para a China e a Índia, com aproximadamente 800 milhões de toneladas de frutas por ano. Devido às condições climáticas e áreas que permitem a produção de frutas de alta qualidade, praticamente, durante todo o ano, o Brasil é um dos países mais competitivos para exportação de frutas, dentre elas a acerola (JUNIOR, 2017). A acerola é uma fruta tropical de alto valor nutritivo, sendo uma das mais importantes fontes naturais de vitamina C. O consumo de três unidades da fruta por dia satisfaz, em média, a ingestão diária de vitamina C recomendada para um adulto, a qual é de 45 mg segundo a Resolução RDC Nº 269, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2005c).

O ácido ascórbico é estável na forma de pó, entretanto perde esta característica quando dissolvido em água. Fatores ambientais, tais como temperatura, pH, oxigênio, luminosidade, íons metálicos, UV também afetam a sua estabilidade. A técnica de encapsulação pode ser o método mais adequado para incrementar a estabilidade da vitamina C. Esta técnica permite superar limitações no emprego de ingredientes alimentícios, visto que pode reduzir ou eliminar odores indesejáveis, reduzir volatilidade e reatividade e aumentar a estabilidade destes em condições ambientais adversas, como na presença de luz, oxigênio e pH extremos (SOUZA *et.al.*, 2015).

As tecnologias de secagem possibilitam a obtenção da fruta na forma de pó, aumentando sua disponibilidade, reduzindo as perdas pós-colheita, agregando valor e possibilitando uma ampla aplicação em diversas formulações de alimentos em escala industrial. A secagem por atomização (*spray drying*) é um processo que resulta em produtos com boa qualidade, baixa atividade de água e facilidade de transporte e armazenamento, e tem sido amplamente utilizada para a produção de pós de sucos de frutas (QUEK *et al.*, 2007). No entanto, tais pós podem apresentar alguns problemas em suas propriedades, como pegajosidade (*stickiness*) e alta higroscopicidade, devido à presença de açúcares e ácidos de baixa massa molecular, que apresentam baixas temperaturas de transição vítrea. Assim, eles podem grudar na parede da câmara do secador durante a secagem, levando a um baixo rendimento do produto e problemas operacionais.

A secagem por atomização (*spray drying*) é um processo que resulta em produtos com boa qualidade, entanto, tais pós podem apresentar alguns problemas em suas propriedades e desafios para realizar esta operação, podendo grudar na parede da câmara do secador durante a secagem, levando a um baixo rendimento do produto e problemas operacionais. Uma alternativa utilizada para secar tais produtos tem sido a adição de aditivos de alta massa molecular ao produto antes de ser atomizado, a fim de aumentar sua temperatura de transição vítrea, melhorando assim o processo de secagem, bem como o transporte e armazenamento das substâncias presentes na fruta.

Uma alternativa utilizada para secar tais produtos tem sido a adição de aditivos de alta massa molecular ao produto antes de ser atomizado, a fim de aumentar sua temperatura de transição vítrea (TONON, 2009), para melhorar o processo de secagem, transporte e armazenamento das substâncias presentes nas frutas (SANTOS *et.al.*, 2014). Vários polímeros são utilizados como material de parede na secagem tais como: maltodextrina, goma arábica, amidos modificados, proteínas, dextrinas e derivados de celulose.

A maltodextrina é o *carrier* mais utilizado no processo de *spray drying* devido ao seu baixo custo, disponibilidade e baixa higroscopicidade (RIBEIRO *et.al.*, 2019). O uso de fibras como *carrier* na secagem por *spray drying* também pode ser uma alternativa aos carreadores usados atualmente para o aumento da transição vítrea. O processo de secagem por *spray drying* possibilita a obtenção de um suco desidratado de acerola verde com preservação dos nutrientes, principalmente os antioxidantes, como o ácido ascórbico.

Por outro lado, devido às baixas temperaturas de transição vítrea (causadas pela grande quantidade de açúcar presente no suco de acerola verde), a secagem de acerola apresenta dificuldades operacionais e baixo rendimento, sendo necessária a utilização de baixas temperaturas de entrada e ΔT , gerando baixa produtividade para evitar a aderência do particulado na câmara de secagem do *spray dryer* (*stickness*), resultando em sucos desidratados que apresentam alta higroscopicidade, cor e sabor caramelizados e aglomeração (*caking*) (ZOTARELLI, 2014).

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da adição de diferentes *carriers* de secagem sobre as características físico-químicas, higroscópica e microscópica do suco de acerola verde desidratado por *spray drying*.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a influência de diferentes agentes carreadores por *spray drying* sobre a transição vítrea e características físico-químicas na desidratação do suco de acerola verde.

2.1.1 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização físico-química e microscópica do pó de acerola desidratado;
- Avaliar e comparar a influência da alteração dos agentes carreadores de secagem sobre as características físico-química, higroscópica e microscópica da acerola em pó;
- Avaliar o efeito dos agentes carreadores de secagem no aumento da transição vítrea do pó.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ACEROLA

A aceroleira é uma árvore frutífera originada das Ilhas do Caribe, América Central e Norte da América do Sul. No Brasil a acerola foi introduzida no estado de Pernambuco, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFPE), em 1955, por meio de sementes oriundas de Porto Rico, de onde se espalhou para o Nordeste e para outras regiões do País (RITZINGER, 2011).

O Brasil é atualmente o maior produtor e exportador de acerola do mundo e tem apresentado um incremento de suas áreas cultivadas, distribuídas por todas as regiões do país. O Nordeste é a principal região produtora e corresponde por cerca de 64% da produção nacional. Os principais estados produtores são Pernambuco (23,11% da produção nacional), seguido pelo Ceará (14,32%), São Paulo (11,39%) e Bahia (10,48%) (SANTOS, 2016).

A aceroleira mesmo não sendo nativa se adaptou bem a região nordeste, após estudos revelarem o alto teor de vitamina C que o fruto verde apresenta, o cultivo ganhou notoriedade mundial tornando-se um fruto de grande importância comercial. Em algumas variedades de acerola o teor de ácido ascórbico alcança até 5000 mg.100g⁻¹, valor 100 vezes maior que a laranja (SOUZA *et al.*, 2017).

A acerola é um fruto classificado como climatério, ou seja, passa por uma série de alterações bioquímicas durante os processos de maturação, amadurecimento e senescência,

destacando-se a degradação da clorofila, a síntese dos carotenóides e das antocianinas, o decréscimo na acidez e a acentuada perda de vitamina C ao longo desses estágios. As alterações podem acontecer quando o fruto está na planta ou após a colheita, podendo ser colhidos no início da maturação (verde, verde-amarelado ou até vermelha), quando se destinam a fabricação de produtos em pó, cápsulas, concentrados para o enriquecimento de outros alimentos. Para a extração e comercialização da vitamina C, o ponto de colheita ideal é a acerola verde, pois ocorre a redução dessa vitamina conforme o amadurecimento dos frutos (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Segundo Magalhães *et al.* (2018), o estágio de maturação do fruto da acerola difere na sua característica físico-química, sendo que o autor identificou que o amadurecimento da acerola produz um acréscimo da sacarose de 1,87 mg.g⁻¹ (verde) para 3,06 mg.g⁻¹ (totalmente madura) e uma diminuição do teor do ácido ascórbico de 2164 mg.100g⁻¹ (verde) e 1074 mg.100g⁻¹ (totalmente madura), características essas que atraem muitos fruticultores, além do fácil cultivo, sabor e elevada capacidade de aproveitamento industrial da fruta, o que promove a elaboração de vários produtos alimentícios, cosméticos e nutracêuticos (SOUZA *et al.*, 2017).

Segundo Freitas *et al.* (2006), a acerola possui elevado pico da taxa respiratória (900 mL CO₂ kg⁻¹.h), mas com uma baixa taxa no pico de produção de etileno (3 µL C₂H₄ kg⁻¹.h). O Quadro 1 apresenta os valores médios de pH, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de acerolas, segundo diferentes autores. Observa-se que o pH é um parâmetro de baixa variabilidade em acerolas, e os teores de sólidos solúveis totais e acidez titulável possuem uma ampla faixa de variação, devido a localização dos pomares, variedade, e as plantas possuírem hábito de crescimento diferenciado e produção de frutas quantitativa e qualitativamente heterogêneas.

Quadro 1 – Valores de pH, sólidos solúveis totais (SST) e acidez total titulável (ATT) de acerolas, segundo diferentes autores.

Autores	pH	SST (°Brix)	ATT (%)
Matsuura <i>et al.</i> (2001)	3,08 a 3,57	6,0 a 11,6	0,69 a 1,65
Lima <i>et al.</i> (2002)	3,11 a 3,41	7,00 a 8,43	1,04 a 1,87
França & Narain (2003)	3,18 a 3,53	5,70 a 6,50	-
Chaves <i>et al.</i> (2004)	3,4 a 3,6	6,5 a 7,10	1,08 a 1,65
Godoy <i>et al.</i> (2009)	3,29 a 3,60	7,88 a 8,84	0,83 a 1,35
Maciel <i>et al.</i> (2010)	2,9 a 3,5	6,33 a 11,46	-
Silva <i>et al.</i> (2011)	3,32 a 3,40	6,63 a 7,05	1,47 a 1,73

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2014.

Ferreira *et al.*, (2009) relatam que além do ácido ascórbico, o fruto apresenta valores consideráveis de tiamina, riboflavina, niacina, proteínas e sais minerais, principalmente ferro, cálcio e fósforo. Vendramini e Trugo (2000), caracterizando a acerola em três diferentes estágios de maturação encontraram para sua composição química, os dados mostrados no Quadro 2.

Quadro 2 - Características de acerolas em diferentes estádios de maturação.

Características	Estágio de maturação		
	Imatura (verde)	Intermediária (amarela)	Madura (vermelha)
Vitamina C (mg 100g ⁻¹)	2164	1065	1074
Proteína (g 100g ⁻¹)	1,2	0,9	0,9
Cinzas (g 100g ⁻¹)	0,4	0,4	0,4
Umidade (g 100g ⁻¹)	91,0	92,4	92,4
Acidez titulável (%)	18,2	15,6	34,4
pH	3,7	3,6	3,7
Sólidos solúveis (°Brix)	7,8	7,7	9,2
Açúcar redutor (g 100g ⁻¹)	3,3	4,2	4,4
Açúcar não redutor (g 100g ⁻¹)	1,1	0,1	ND*
Açúcar total (g 100g ⁻¹)	4,4	4,3	4,4

*ND não detectado

Fonte: Adaptado de Vendramini e Trugo (2000).

A vitamina C tem um importante papel como antioxidante, o que a faz atuar no sistema imunológico no tratamento de infecções. Essa característica tem levado a realização de muitas pesquisas sobre o assunto, por que muitas doenças são causadas pelo estresse oxidativo causado por espécies reativas de oxigênio (PAGANI, 2010).

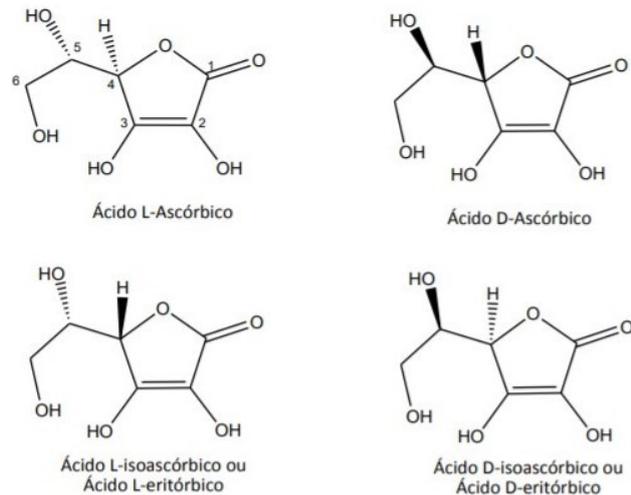
O fruto é conhecido principalmente por seu alto teor de vitamina C, variando entre 3 e 46 g kg⁻¹, sendo uma das mais importantes fontes naturais desta vitamina. O consumo de três unidades de fruta por dia satisfaz a ingestão diária de vitamina C recomendada para um adulto (MERCALI *et al.*, 2011).

3.1.1 Ácido Ascórbico

O nome químico oficial da vitamina C (C₆H₈O₆) é ácido L-treo-2-hexonona-1,4-lactona (ou ácido 2,3-enediol-gulónico-lactona). Em 1965, a comissão do IUPAC-IUB (do inglês “International Union of Pure and Applied Chemistry – International Union of

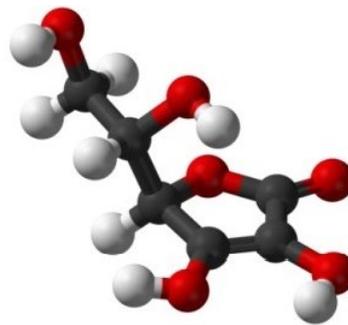
Biochemistry) alterou a designação química desta molécula para ácido ascórbico (AA) ou ácido L-ascórbico (LAA). A palavra “ascórbico” representa o valor biológico desta molécula na proteção contra o escorbuto (do Latim *Scorbutus*) e a designação L- indica que se trata de uma espécie opticamente ativa (JOHNSTON, 2008).

Figura 1– Estruturas do ácido L-ascórbico e seus isômeros.



Fonte: Eitenmiller (2008).

Figura 2 – Estrutura espacial do Ácido ascórbico.



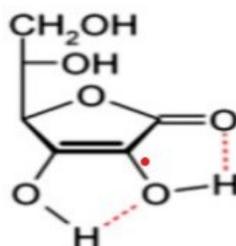
Fonte: Santos (2014).

O termo genérico “vitamina C” diz respeito a todos os compostos que apresentam uma atividade biológica equivalente ou semelhante ao ácido L-ascórbico. Este grupo inclui os seus produtos da oxidação, isômeros, ésteres do ácido ascórbico e as formas sintéticas. Esta molécula hidrossolúvel e termolábil, apresenta uma estrutura bastante simples: conformação em anel - lactona estável quase planar constituído por cinco membros. Os dois centros quirais nas posições 4 e 5 permitem a existência de quatro estereoisômeros. Os pares de enantiômeros correspondem aos ácidos L e D-ascórbico e ácidos L e D-araboascórbico (também conhecido

como ácido isoascórbico ou ácido eritórbico). Por sua vez, os ácidos L-isoascórbico e D-ascórbico e os ácidos L-ascórbico e D-isoascórbico são epímeros. Diferem apenas na orientação do hidrogênio e do grupo hidroxilo no carbono 5. As estruturas do ácido L-ascórbico e seus isômeros, bem como a estrutura espacial são apresentadas na Figura 1 e 2 (LEE, 2000).

Em sua molécula polar possui 4 hidroxilas (OH), responsáveis por aumentar a acidez da vitamina C devido à interação entre as hidroxilas por meio de ligações de hidrogênio como demonstrada na Figura 3 (MORÁN *et al.*, 2006).

Figura 3 – Interação entre as hidroxilas na molécula do Ácido Ascórbico por ligação de hidrogênio.



Fonte: Morán *et al.*, (2006).

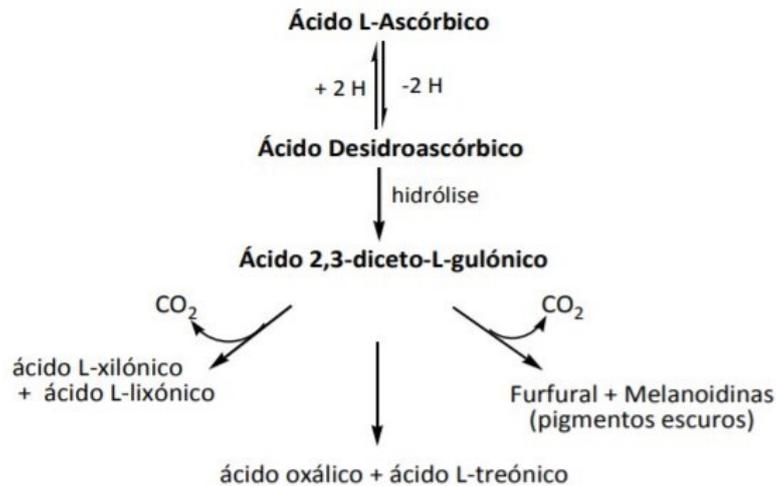
Quadro 3 – Propriedades Físicas do ácido L-ascórbico.

Fórmula Empírica	$C_6H_8O_6$
Massa Molecular (g/mol)	176,13
Aparência	Sólido branco cristalino, inodoro
Densidade (g/cm³)	1,65
Ponto de fusão (°C)	190 – 192
Solubilidade	Água – 33 g/100 mL; Etanol – 2 g/100 mL; Glicerol – 1g/100 mL. Insolúvel em lipídios, éter dietílico, clorofórmio, benzeno, éter de petróleo, entre outros.
Acidez (pKa)	4,17 (pK_{a1}); 11,6 (pK_{a2})
pH	≈ 3 (5 mg/mL); ≈ 2 (50 mg/mL)
Espectro Absorção	$^a \epsilon$ Max (1%, 10 mm) = 695 ($\lambda = 245$ nm, pH = 2) ϵ Max (1%, 10 mm) = 940 ($\lambda = 265$ nm, pH = 6,4)

Fonte: Adaptado de Eitenmiller (2008).

O ácido ascórbico conforme Quadro 3, é uma substância com aspecto de pó cristalino branco ou de cristais incolores e inodoros. Em sua forma seca é estável, mas, quando em contato com calor ou em solução, é oxidada facilmente, podendo ocorrer alteração em sua coloração quando exposto à luz, à umidade e ao ar (DALCIN *et al.*, 2003).

Figura 4 – Oxidação do ácido ascórbico a ácido dehidroascórbico e ácido dicetogulônico.



Fonte: Produtos da degradação do ácido L-ascórbico (DAVEY *et.al*, 2000).

Nos alimentos pode ser encontrado na forma de ácido L-ascórbico facilmente oxidado a ácido L-dehidroascórbico, mas ambos apresentam função fisiológica. O ácido L-dehidroascórbico pode retomar sua atividade após receber átomos de hidrogênio, entretanto, uma oxidação do ácido L-dehidroascórbico leva à perda de sua atividade biológica, ocorrendo a inativação irreversível da vitamina pela compressão do anel lactônico em ácido 2,3-dicetoL-gulônico (Figura 4) (SUCUPIRA *et al.*, 2012).

O processo de decomposição do ácido 2,3-diceto-L-gulônico implica em sua redução formando ácido oxálico, ácidos L-treônicos e posteriormente pigmentos escuros (REKHA *et al.*, 2012). O ácido L-ascórbico apresenta 100% de atividade de vitamina, já o ácido L-dehidroascórbico possui cerca de 75% a 80% de atividade de vitamina C. Normalmente tem-se um equilíbrio entre as duas formas, sendo o teor de vitamina C total decorrente do somatório dos teores de ambos os ácidos. O ácido D-ascórbico não possui atividade vitamínica (PINEDO, 2007).

Em pH maior que 4, o ácido dehidroascórbico sofre rearranjo irreversível a material biológico inativo. O ácido dehidroascórbico também é rapidamente convertido a ácido 2,3-dicetogulônico por um processo catalisado por Cu^+ e outros íons metálicos de transição. Portanto, a perda de ácido ascórbico presente em vegetais e frutas é acelerada quando esses alimentos são cozidos em recipientes de cobre ou de ferro. A vitamina C é rapidamente decomposta, por isso frutas/vegetais cozidos por tempo elevado e alimentos obtidos por processamento industrial intenso contém vitamina C em pequena quantidade. Normalmente, a estabilidade da vitamina C aumenta com a redução da temperatura e a maior perda se dá durante

o aquecimento dos alimentos, também há casos de perda durante o congelamento ou armazenamento a baixas temperaturas. A vitamina C representa importante atividade no organismo, tornando-se um dos majoritários antioxidantes dos sistemas aquosos (VIEIRA, 2020).

Linus Pauling (1901-1994), ganhador do Prêmio Nobel de Química, com suas pesquisas disseminou e popularizou a vitamina C. O pesquisador recomendava doses altíssimas da vitamina para o combate de resfriados, gripes e outras viroses, bem como na prevenção de outras doenças degenerativas (SANTOS, 2014).

Segundo Vannucchi e Rocha (2012) o ácido ascórbico atua como um antioxidante, por estar disponível para uma oxidação energeticamente favorável. Por ser facilmente oxidado pelo ar, sofre a oxidação em preferência ao alimento, preservando a qualidade deste. Muitos oxidantes como o radical hidroxilo contêm um elétron não emparelhado, e, com isso, são muito reativos e prejudiciais para as pessoas, plantas e alimentos, em nível molecular, devido as possíveis interações com os ácidos nucleicos, proteínas e lipídios. As espécies de oxigênio reativas são reduzidas a água, enquanto as formas oxidadas do ácido ascórbico (monodehidroascórbico e dehidroascórbico) são relativamente estáveis e não reativas.

O ácido ascórbico, como antioxidante em alimentos, atua na remoção do oxigênio e prevenindo assim, a oxidação de constituintes sensíveis do alimento, além de atuar sinergicamente com os agentes complexantes na redução de produtos indesejáveis da oxidação (SANTOS, 2014).

3.1.1.1.1 Rotas de degradação de vitamina C

As reações de degradação da vitamina C em sucos de fruta são predominantemente de natureza não-enzimática, e podem seguir dois caminhos consecutivos e/ou paralelos: aeróbico e anaeróbico (POLYDERA *et al.*, 2005), embora alguns autores relatem que os mecanismos envolvidos na degradação desta vitamina ainda não estejam totalmente esclarecidos (MANSO *et al.*, 2001). Em sucos não processados, também pode ocorrer degradação do ácido ascórbico pela oxidação enzimática (POLYDERA *et al.*, 2005).

Em condições aeróbicas, o ácido ascórbico é transformado em ácido dehidroascórbico que passa a ácido 2,3-dicetogulônico produzindo, finalmente, hidroxifurfural (POLYDERA *et al.*, 2005). O hidroximetilfurfural (HMF) também é produzido, e pode ser originado da reação da degradação do ácido ascórbico e/ou de açúcares com aminoácidos, levando à formação de

compostos escuros que são responsáveis pelo escurecimento do suco (*browning*) (QUEIROZ e MENEZES, 2005). Já em condições anaeróbicas, o ácido ascórbico decompõe-se em ácido 2,5-dihidro-2-furanóico que passa a dióxido de carbono e furfural. Este sofre polimerização como um aldeído ativo e pode se combinar com aminoácidos contribuindo, também, para o escurecimento do suco, levando, à deterioração do sabor e da qualidade, aliada à redução de *shelf life* e à perda do valor nutricional (SOLOMON *et al.*, 1995).

Em estudo realizado por Fernandes *et al.*, (2007) com suco de goiaba, apesar das perdas de nutrientes durante o processamento, o suco apresentou teor de vitamina C de 43,46 mg/100 mL após a pasteurização. Uma redução de 12% foi observada após a pasteurização do suco, podendo ser explicada pela instabilidade térmica da vitamina C.

Os principais fatores que podem afetar a degradação da vitamina C em suco de fruta incluem o tipo de processamento, condições de estocagem, tipo de embalagem, oxigênio, luz, catalisadores metálicos, enzimas e pH. Alguns autores também relatam a influência da concentração de sais e de açúcar, concentração inicial de ácido ascórbico e carga microbiana (LEE, 1999).

3.2 SECAGEM

Dentre os métodos de preservação de alimentos, a secagem foi uma das primeiras utilizadas pelo homem. O objetivo principal da secagem é prolongar a vida útil através da redução da atividade de água, inibindo o crescimento de microrganismos e atividade enzimática. A diminuição da massa dos produtos, pela redução do conteúdo de água, reduz os custos de transporte, embalagem e armazenamento (FELLOWS, 2006). Em muitos casos o alimento seco torna-se uma questão de conveniência, facilitando seu manuseio e preparo.

A secagem é um processo que pode ser aplicado na indústria de polpas de frutas, concentrando os principais compostos bioativos da matéria-prima e habilitando o produto para o armazenamento em condições ambientais por longos períodos (RIBEIRO, 2014). Além disso, a secagem das frutas pode significar uma redução nas perdas pós-colheita das mesmas aumentando seu tempo de conservação além do aumento do valor agregado ao produto.

Segundo Fellows (2006), a desidratação é a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maior parte da água presente em um alimento, ou no caso da liofilização, por sublimação. No entanto, a maioria dos métodos de secagem de alimentos envolve a aplicação de calor tais como secagem por atomização *spray dryer* e

secagem em leito de jorro. A escolha do método vai depender do tipo de alimento a ser desidratado, do nível de qualidade que se deseja obter e do custo que possa ser justificado.

Entre os principais métodos de secagem de sucos e polpas de frutas podem ser citados a secagem por ar quente, liofilização, leito fluidizado, *belt dryer*, *cast tape drying* e *spray drying*, sendo este o mais utilizado em escala industrial.

Uma alternativa para a preservação da acerola é a sua desidratação pelo processo de atomização (*spray drying*) que permite a obtenção do suco de acerola ser desidratado com elevado teor de vitamina C, no qual poderá ser utilizada na elaboração de produtos na área alimentícia e farmacêutica (TANAKA, 2007).

Ferrari et al. (2012) apresentam a secagem por *spray drying* como uma alternativa viável para a conservação de substâncias termossensíveis presentes nos frutos. O processo é indicado para produtos pastosos ou líquidos e caracteriza-se pela pulverização da amostra e sua transformação em um produto seco, na forma de pó, em um tempo relativamente curto.

De acordo com Bhandari et al. (1997), o alto teor de açúcares de baixa massa molecular nas frutas (sacarose, glicose, frutose) pode comprometer o rendimento no processo de secagem, devido aderência do pó às paredes do secador, pois o pó produzido apresentará alta pegajosidade e higroscopicidade. Riguetto (2004) em seus estudos com acerola verde e diferentes proporções de goma arábica e maltodextrina utilizadas como *carrier* encapsulante, caracterizou as propriedades físico-químicas e a estabilidade do suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização, concluindo que os sucos desidratados por *spray dryer* apresentaram uma retenção de 65 a 80% de vitamina C, resultando em uma maior retenção desse micronutriente quando comparado à técnica de liofilização.

Silva et al. (2017) ao estudarem parâmetros de degradação cinética e termodinâmica para antocianinas em polpa de acerola aquecida a diferentes temperaturas, encontraram resultados que indicam que a energia de ativação da degradação apresentou-se muito dependente da temperatura, sendo que os resultados indicaram um processo de degradação relativamente lento.

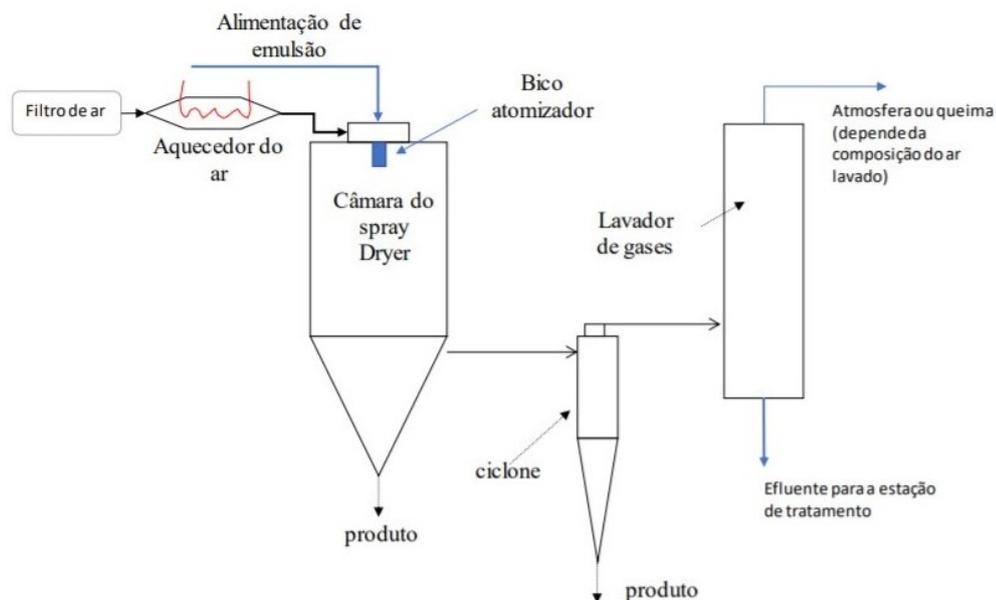
Ribeiro et al. (2019) ao estudarem os efeitos das variáveis no processo de secagem por pulverização em suco de acerola e seriguela, concluíram que o uso da secagem por pulverização é um método eficiente e capaz de fornecer compostos benéficos à saúde, e o uso da acerola como um potencial agente enriquecedor em sucos em pó ao propiciar um alto teor de ácido ascórbico. Assim como, Rezende et al. (2018) ao encapsularem os extratos de compostos

bioativos de resíduo de acerola por pulverização e liofilização, concluíram que o tratamento por *spray drying* apresentou melhores resultados em relação às concentrações de alguns compostos bioativos e atividade antioxidante.

3.2.1 *Spray Dryer*

A secagem por atomização é uma das técnicas mais utilizadas na indústria de alimentos. O método utiliza um secador denominado atomizador (*spray dryer*) que, em condições ideais de processamento, permite obter produtos em pó de alta qualidade. Pós de frutas têm muitos benefícios e potencialidades econômicas sobre sucos e polpas como a redução do volume ou peso, redução de embalagem, fácil manuseio e transporte e muito mais tempo de vida de prateleira. Além disso, seu estado físico proporciona uma maior estabilidade e o torna um ingrediente facilmente doseável, que geralmente encontra uso em muitos alimentos e produtos farmacêuticos (GOULA; ADAMOPOULOS, 2010).

Figura 5 – Desenho ilustrativo de um *Spray Dryer* industrial.



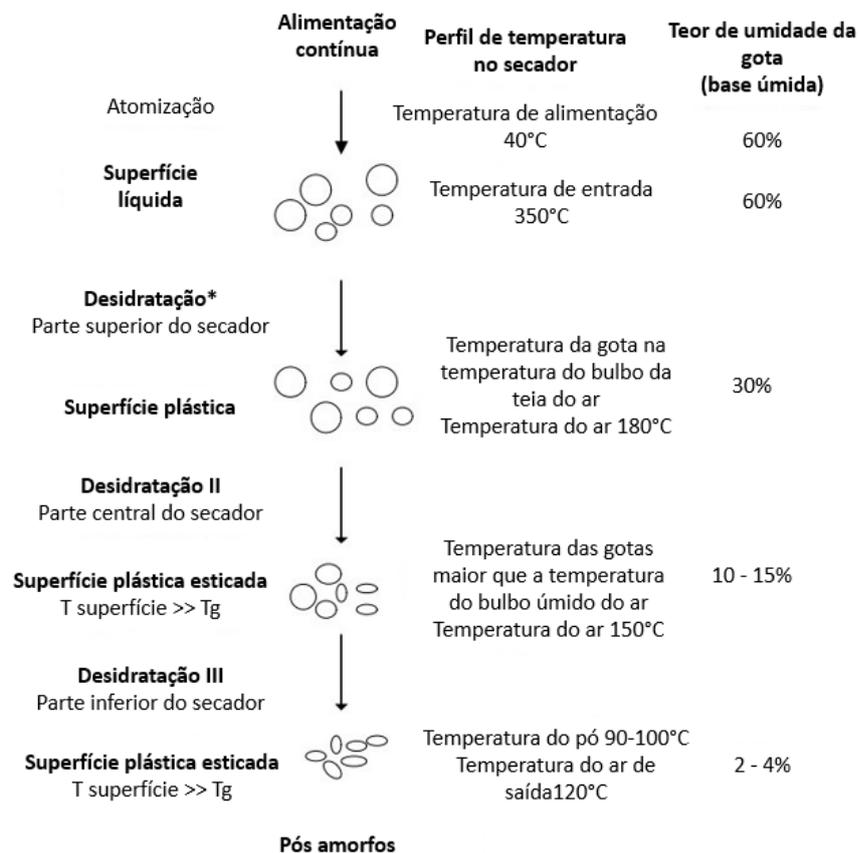
Fonte: Contri (2021).

O conjunto padrão que compõe um atomizador do tipo *spray dryer* é constituído de:

- 1) Sistema de atomização do material;
- 2) Sistema de aquecimento e controle de temperatura do ar de secagem;
- 3) Sistema de bombeamento e controle de vazão da alimentação do material a ser seco;
- 4) Sistema da alimentação de ar para secagem;
- 5) Câmara de secagem;
- 6) Sistema de separação ar.

O esquema de funcionamento de um *spray dryer* está apresentado na Figura 5. O processo de secagem consiste em pulverizar uma suspensão ou solução do material a ser desidratado para dentro de uma câmara submetida a uma corrente controlada de ar quente que fornece o calor necessário à evaporação do solvente, resultando na formação de um pó. O ar quente promove uma rápida evaporação da água, devido à alta relação área de superfície/volume das gotículas. Com isso, o tempo de exposição das partículas ao calor é curto e a temperatura do núcleo não ultrapassa os 100°C, o que reduz a ocorrência de alterações indesejáveis em compostos termossensíveis, embora alguns compostos de baixo ponto de ebulição possam ser perdidos (FANG; BHANDARI, 2011).

Figura 6 – Representação esquemática das mudanças físicas da gota durante a secagem em *spray drying*.



Fonte: Adaptado de Cheuyglintase, (2009).

As variáveis que mais se destacam nesta técnica de secagem são: a temperatura de aquecimento do ar de entrada e temperatura de saída de ar do sistema, o fluxo de ar, a distribuição da temperatura, umidade do ar e do produto, o tempo de permanência (ou tempo

de residência das partículas atomizadas), rotação de disco ou pressão no bico atomizador, e a vazão de alimentação que será atomizada no secador. Todos esses parâmetros juntos com as características da matéria prima e do *carrier* determinam a eficiência da secagem (NUNES *et al.*, 2015). A velocidade de secagem é ligada a três fatores: a superfície de evaporação, a diferença da pressão parcial de água entre a gotícula e o ar e a velocidade de migração de água na gotícula (SCHUCK, 2012). De acordo com a lei de Fourier, quanto maior a área de troca, mais rápida será a transferência de energia na forma de calor e, portanto, maior será a velocidade de secagem. Nas Figuras 6, são apresentadas as mudanças físicas da gota durante a secagem.

A transferência de água do produto para o ar é causada pela diferença da pressão parcial da água entre as gotículas e o ar seco e que, quanto maior a diferença, mais rápida será a secagem. Uma desidratação com aumento da temperatura permite uma diminuição de sua pressão parcial de vapor (PERRONE *et al.*, 2016).

De acordo com Anadharamakrishnan e Ishwarya (2015), 1 m³ de líquido pode formar aproximadamente 2×10^{12} gotas uniformes de 100 µm, criando assim uma área superficial de 60.000 m². Esta grande razão área superficial-volume permite à técnica de *spray drying* atingir uma taxa de secagem mais rápida (o tempo de secagem é proporcional ao quadrado da dimensão da partícula), consequentemente há menor perda de compostos termicamente sensíveis e eventualmente partículas com morfologia e características físicas desejadas são obtidas.

Moreira *et al.*, (2010) avaliaram a retenção do ácido ascórbico e antocianinas durante a secagem do resíduo da acerola na secagem por atomização, levando em consideração temperatura de entrada, proporção de *carrier* e substituição de maltodextrina por goma de cajueiro. Como resultado, os autores observaram que o grau de retenção de ácido ascórbico e antocianina foram prejudicados pelo aumento da temperatura de entrada e favorecida por temperaturas mais baixas e maior proporção de *carrier*.

Quadro 4 – Porcentagem de açúcares e ácido ascórbico no suco de acerola verde.

Componentes	Quantidades
Ácido ascórbico	≥17.0%
Frutose	30.45%
Glucose	16.20%
Sucrose	3.35%

Fonte: Próprio autor (2023).

A desidratação de sucos e polpas de fruta não é uma tarefa simples, de forma que sucos de frutas em pó produzidos por atomização podem apresentar alguns problemas em suas

propriedades como a alta higroscopicidade, devido à presença de açúcares e ácidos de baixa massa molar, tais como frutose, glicose e sacarose e também de ácidos orgânicos (ácido cítrico, málico e ácido tartárico) que constituem mais de 90% dos sólidos em sucos e purês de frutas, conforme Quadro 4. (FAZAELI *et al.*, 2012).

Quadro 5 – Temperatura de transição vítrea de açúcares e ácidos orgânicos.

Componentes	Temperatura Transição Vítrea (°C)
Lactose	97.8 a 101.0
Maltose	87.0 a 93.0
Sucrose	62.0 a 68.6
Glucose	31.0 a 40.3
Frutose	5.0 a 16.2
Ácido cítrico	12.0 a 13.6
Ácido tartárico	18.0 a 18.5
Ácido málico	-16.1 a -16.0
Ácido láctico	-60.5 a -60.0
Ácido Ascórbico	-54.5 a -54.0
Água	-139.0

Fonte: Adaptado de Truong (2014).

Estes compostos, conforme Quadro 5, têm baixa temperatura de transição vítrea (sacarose: 62°C, frutose: 5°C e glicose: 32°C), assim podem aderir à parede do secador durante o processo, levando a um baixo rendimento e problemas operacionais (FAZAELI *et al.*, 2012).

Alguns desses problemas podem ser resolvidos por meio da adição *carrier* de alta massa molecular (polímeros e gomas) antes da atomização, para melhorar o processo de secagem, transporte e conservação das substâncias presentes nas frutas. Além de reduzir a higroscopicidade do produto, normalmente utilizados na microencapsulação, podem proteger componentes termossensíveis contra condições ambientais desfavoráveis, mascarar ou preservar sabores e reduzir a volatilidade e reatividade (TONON *et al.*, 2009).

3.3 CARACTERÍSTICAS DOS CARRIERS DE SECAGEM

As principais funções dos *carriers* são proteger o núcleo e aumentar a temperatura de transição vítrea do produto, reduzindo a pegajosidade e deposição na parede do secador bem como a tendência a aglomeração do pó durante o armazenamento, formando um produto mais estável (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Os *carriers* de secagem utilizados no *spray drying* deveriam idealmente ter (ZUIDAN; NEDOVIC, 2010):

- Alto grau de solubilidade;
- Baixa viscosidade a uma alta concentração de sólidos (35 e 50 %) (p/p) em água;
- Boas propriedades de emulsificação;
- Boas propriedades de formação de filme e de secagem;
- Caráter não higroscópico;
- Sabor suave;
- Melhorar estabilidade de compostos bioativos;
- Baixo custo.

Diferentes *carriers* são usados no processo de atomização: polissacarídeos (amido, maltodextrinas, xarope de milho e gomas), lipídeos (ácido esteárico, mono e diglicerídeos), poliésteres naturais (poli hidroxialcanoatos e seus copolímeros), polímeros sintéticos (PDLA, poliácridatos, poli caprolactona, PCL) e proteínas (gelatina, caseína, soro de leite, glúten, albumina) (NAZZARO *et al.*, 2012). Entretanto, nos últimos anos, intensificou-se o uso de polímeros naturais, devido às características inerentes a esses materiais, pois são atóxicos, de baixo custo e biodisponíveis. Além disso, os polímeros são biodegradáveis, permitindo a entrega contínua do agente ativo com baixo impacto ambiental (CAMPOS *et al.*, 2019).

3.4 AGENTES CARREADORES

A função dos agentes carreadores nas suspensões/emulsões em processos de desidratação por *spray dryer* são melhorar a secagem e a estabilidade, aumentando a temperatura de Tg, proteger as substâncias sensíveis a altas temperaturas (protegendo os compostos da degradação) e formar moléculas mais esféricas. Os agentes careadores mais utilizados são os que apresentam alta massa molecular, como amidos, maltodextrinas e gomas (TONON, 2009).

Conforme Quadro 6, os agentes careadores utilizados apresentam as seguintes transições vítreas:

Quadro 6 – Relação da transição vítrea dos diferentes agentes careadores utilizados.

<i>Carriers</i>	Tg (°C)
NUTRIOSE®	115
N Lok®	120
Goma arábica	126
Promitor®	171
Maltodextrina DE 2	212

Fonte: Sobulska; Zbicinski, (2021); Nogueira *et al.*, (2018)

3.4.1 Amido Modificado (OSA)

Octenil-succinato de amido é um *carrier* obtido através da esterificação do amido com anidrido octenilsuccínico (OSA) em condições alcalinas. Esta modificação resulta em um *carrier* com propriedades anfílicas muito eficaz, sendo utilizado como um agente encapsulante para liberação modificada do material, formando uma camada protetora capaz de preservar da degradação compostos sensíveis voláteis e termossensíveis durante a secagem por atomização por *spray dryer* (WANG *et al.*, 2010).

Fernantes *et al.*, (2014) estudaram a influência utilização dos *carrier*: amido modificado, inulina, goma arábica e maltodextrina, na microencapsulação do óleo essencial de Alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), em diferentes combinações. Os autores concluíram que a combinação maltodextrina e amido modificado apresentaram melhores performances no encapsulamento do óleo essencial.

3.4.2 Goma Arábica

A goma arábica é um biopolímero natural composto por polissacarídeos complexos, com unidades de D-galactose, L-arabinose, L-ramnose e ácido D-glucurônico (PATEL; GOYAL, 2015). Aproximadamente 2% p/p de componente proteico está ligado à estrutura molecular desse polissacarídeo, através de ligações covalentes (ESFAHANI *et al.*, 2019). Possui elevada solubilidade em água e capacidade de formação de filme, por isso é amplamente utilizada nas indústrias de alimentos. É comumente utilizada como aditivo alimentar, pois possui propriedades espessante, estabilizante e altamente emulsificante. É considerado um potenciador de shelf-life, pois ajuda a contornar problemas em relação a pegajosidade e protege componentes sensíveis à oxidação através da encapsulação (NORKAEW *et al.*, 2019).

Riguetto (2004) em seus estudos com acerola verde e diferentes proporções de goma arábica e maltodextrina utilizadas como *carrier*, caracterizou as propriedades físico-químicas e a estabilidade do suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização, concluindo que os sucos desidratados por *spray dryer* apresentaram uma retenção de 65 a 80% de vitamina C, resultando em uma maior retenção desse micronutriente quando comparado à técnica de liofilização.

3.4.3 Maltodextrina

Maltodextrina é o nome comum para oligo e polissacarídeos de glucose, formados durante a decomposição parcial do amido. Por definição, hidrolisados de amido que consistem em unidades de α -D-glicose ligadas principalmente por ligações glicosídicas com uma fórmula geral igual a $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$ (PEDRO, 2009).

Quadro 7 – Relação entre diferentes níveis de DE, massa molecular e Tg.

Dextrose equivalente (DE)	Massa molecular (MM)	Tg (°C)
26	500	100
25	720	121
20	900	141
10	1800	160
5	3600	188

Fonte: Adaptado de Anadharamkrishnan e Ishwarya (2015).

O número de unidades de glicose (n) é uma variável que define o nível de dextrose equivalente (uma medida do grau de hidrólise do polímero e suas unidades monoméricas constituintes), massa molecular (MM) e sua Tg (temperatura de transição vítrea). Um alto valor de DE significa uma maior concentração de sacarídeos de menor massa molecular resultando em menor Tg, conforme Quadro 7. As maltodextrinas são especialmente adequadas para desidratação de sucos de frutas (DAIUTO; CEREDA, 2003). Trata-se de um material altamente solúvel em água e exibe baixa viscosidade mesmo em altas concentrações o que permite aumentar a concentração de sólidos da suspensão, o que é vantajoso para reter o ativo durante o processo de *spray drying*.

3.4.4 Fibras

As fibras alimentares, também denominadas fibras dietéticas, dividem-se nos grupos: polissacarídeos não amido, oligossacarídeos, carboidratos análogos (amido resistente e maltodextrinas resistentes), lignina, compostos associados à fibra alimentar (compostos fenólicos, proteína de parede celular, oxalatos, fitatos, ceras, cutina e suberina) e fibras de origem animal (quitina, quitosana, colágeno e condroitina) (TUNGLAND, 2002).

As produções de alimentos ricos em açúcares e ácidos requerem um *carrier* adequado. Materiais de alta massa molecular, como maltodextrinas, são comercialmente usadas devido à sua alta temperatura de transição vítrea (T_g). Alternativamente, os subprodutos ricos em fibras podem fornecer elementos de alta massa molecular que pode ser adequado como *carrier* de secagem. O uso de fibra na secagem por pulverização também pode ser aplicado a outros produtos alimentícios como uma alternativa natural aos *carriers* usualmente utilizados. No entanto, a caracterização da fibra a ser adicionada em sucos de frutas pode ser um fator crítico para determinar as características do suco em pó, como sabor, textura, cor, estabilidade de transporte e armazenamento (CHEUYGLINTASE, 2009).

Um estudo de fibra alimentar utilizando bagaço de cenoura encontrou alto teor de celulose e lignina. Pesquisadores descobriram que a temperatura de transição vítrea da fibra foi tão alta quanto maltodextrina com baixo valor equivalente de dextrose. Esta informação mostrou o alto potencial da fibra de cenoura como *carrier* (CHEUYGLINTASE, 2009).

A fibra de aspargo pode ser usada para substituir (parcialmente) a maltodextrina durante a secagem por pulverização do suco de aspargo e, assim, fornece uma oportunidade extra para explorar o fluxo de resíduos (J.W. SICCAMI *et al.*, 2021). Chiou e Langrish (2007) avaliaram o potencial da fibra cítrica como *carrier* para substituir totalmente a maltodextrina. Os pós secos por pulverização apresentaram boas propriedades físicas e o composto bioativo (*Hibiscus sabdariffa* L.) foi detectado dentro dos carreadores de fibra. Por outro lado, Yousefi *et al.* (2015) descobriram que a alta concentração de Carboxi metil celulose (MCC) afetou negativamente a encapsulação de compostos bioativos em suco de framboesa preto seco por pulverização devido às mudanças estruturais das partículas de pó.

3.5 PRODUTOS DESIDRATADOS

As propriedades físicas dos pós de frutas devem apresentar características desejáveis pelo consumidor, como boa capacidade de reidratação, cor e aromas atrativos, além de serem

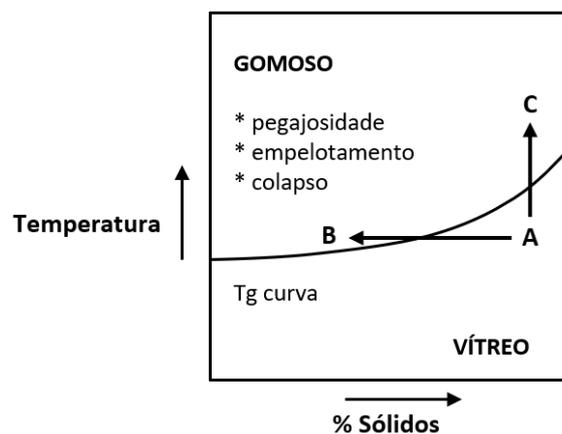
nutricionalmente similares aos produtos in natura. Uma das propriedades mais importantes dos alimentos desidratados em pó é seu comportamento quando reconstituídos em soluções aquosas. Para os consumidores, a reconstituição dos alimentos em pó deve ser rápida e completa. A estabilidade dos alimentos em pó são muito susceptíveis às variações ambientais, podendo ocorrer fenômenos indesejáveis como *stickiness* (pegajosidade) e/ou *caking* (empedramento), durante a produção e armazenamento (ZOTARELLI, 2014).

3.5.1 Temperatura de Transição Vítrea

Para as indústrias de alimentos, particularmente aquelas que utilizam processos de conservação por desidratação, um fator de grande interesse é o conhecimento da temperatura de transição vítrea (T_g) (ROOS, 2010).

A matriz amorfa pode existir como um material vítreo muito viscoso ou como uma estrutura amorfa “gomosa ou borrachuda”, devido ao aumento da mobilidade/ diminuição da pegajosidade (SILALAI; ROOS, 2011). A mudança do estado vítreo para o estado “gomoso” ocorre na temperatura de transição vítrea (T_g) que é específica para cada tipo de material e é afetada por três principais fatores: o material plastificante, a massa molecular e a composição do produto (JULIANO, 2010).

Figura 7 – Diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e gomoso para um material amorfo.



Fonte: Adaptado de Labuza *et al.*, (2004).

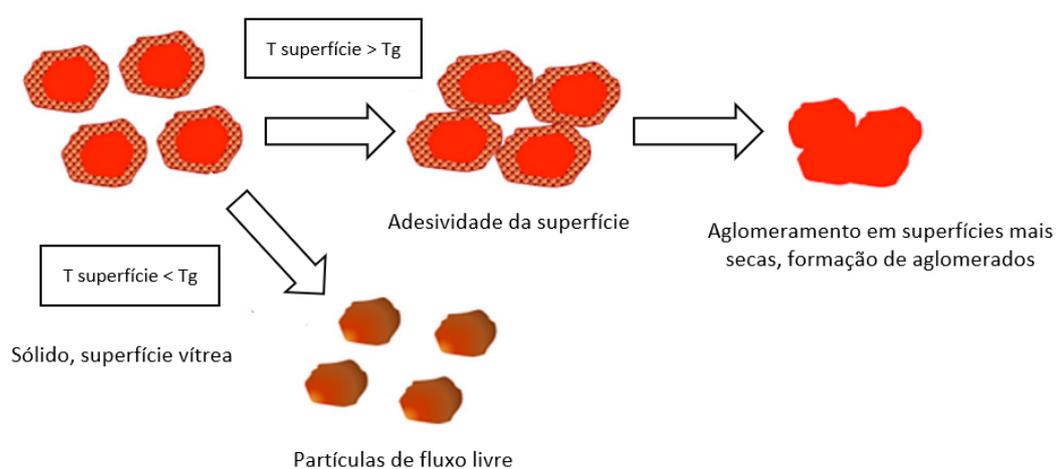
Uma vez que a maior parte dos polímeros é termoplástica e sujeita a plastificação pela água, suas propriedades físicas são governadas pela temperatura e pela quantidade de água. Na Figura 7, pode-se observar um diagrama representativo da transição entre os estados vítreo e

gomoso. Percebe-se que a transição do estado vítreo para o gomoso pode ocorrer, tanto pelo aumento da temperatura, como pelo aumento na concentração do plastificante, no caso, a concentração de água (umidade).

Quando um alimento é submetido a um ambiente de elevada umidade relativa e temperatura constante, ele absorve água, havendo um aumento na concentração desse plastificante. Com isso, ocorre um aumento na mobilidade molecular, dentre outras modificações. Analogamente, em um material submetido a um aumento da temperatura acima da T_g , com umidade constante, observam-se várias alterações, tais como: aumento de volume livre, aumento de *stickiness*, aumento do calor específico e aumento da expansão térmica (LEITE *et al.*, 2005).

O empedramento de alimentos em pó, também chamado de *caking*, ocorre durante a estocagem, depois de um longo período em condições moderadas de umidade, temperatura e pressão. O tempo de contato entre as partículas varia entre dias ou de 1 a 2 anos. A pegajosidade do material é alta, a força aplicada é baixa, mas o tempo de contato entre duas partículas vizinhas é suficiente para o desenvolvimento de forças de adesão significativas. No caso de qualquer processo de aglomeração desejado, o tempo em que as partículas vizinhas estão em contato é relativamente pequeno para atingir um rendimento suficiente do processo (PALZER, 2005).

Figura 8 - O papel da temperatura de transição vítrea (T_g) no controle do *caking* na secagem por *spray drying*.



Fonte: Goula (2017).

Conforme Figura 8, o *caking* pode ocorrer por vários fatores, dentre eles: temperatura, atração eletrostática entre as partículas; umedecimento das superfícies ou por recristalização, quando ocorre a fusão de cristais de açúcares. Todos esses fatores estão relacionados com a exposição do alimento às diferentes condições de temperatura e umidade relativa, durante o manuseio, estocagem, processamento e distribuição ao consumidor final (FITZPATRICK *et al.*, 2010) e também com o tempo de estocagem.

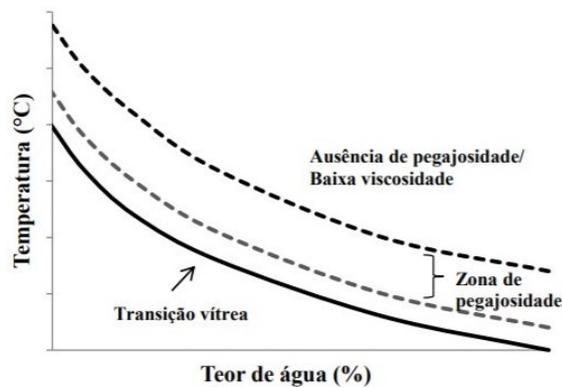
Os conceitos ligados à atividade de água têm sido relacionados com a temperatura de transição vítrea, provendo uma aproximação completa do papel da água nos alimentos. A mobilidade molecular no estado vítreo é extremamente baixa devida à alta viscosidade na matriz (aproximadamente 10^{12} Pa.s). Dessa maneira, a Tg pode servir como um parâmetro de referência para caracterizar as propriedades de qualidade, estabilidade e segurança de sistemas alimentícios. Alterações estruturais como *stickiness*, aglomeração, *caking* e cristalização ocorrem em pós de alimentos amorfos quando estocados em temperaturas acima da temperatura de transição vítrea (ZOTARELLI, 2014). A pegajosidade ou *stickiness* de um material pode ser definida como a coesão entre as partículas e/ou a adesão delas em uma superfície, como as paredes de um equipamento (paredes do *spray dryer*, por exemplo) (MUZAFFAR K *et al.*, 2015).

De fato, a temperatura de transição vítrea é considerada como uma temperatura de referência: abaixo da Tg, é esperado que o alimento seja mais estável; acima desta temperatura, a diferença (T-Tg) entre Tg e a temperatura de estocagem T é responsável por controlar a taxa das mudanças físicas, químicas e biológicas (JULIANO, 2010).

A uma determinada temperatura de secagem por pulverização superior a Tg +20°C, esses componentes tendem a formar partículas macias com uma superfície pegajosa, levando à pegajosidade e, finalmente, formando uma estrutura pastosa em vez de um pó. A mobilidade molecular de tais moléculas é alta por causa de sua baixa temperatura de transição vítrea (Tg) e, portanto, leva a problemas de pegajosidade em temperaturas normalmente predominantes em secadores por pulverização (JULIANO, 2010).

Em uma operação de secagem, o produto encontra-se no estado líquido ou borrachoso e devido à remoção do plastificante (água) o líquido/gomoso é convertido para o estado vítreo. Se o material não passar pela transição devido a uma temperatura de secagem mais alta do que a temperatura de transição vítrea, o produto permanecerá em um estado pegajoso de alta energia. Se o produto entrar em contato com uma superfície sólida de alta energia, ele grudará ou se aderirá ao equipamento (MUZAFFAR K *et al.*, 2015).

Figura 9 – Demonstração da zona de pegajosidade em relação à transição vítrea em materiais amorfos.



Fonte: Fitzpatrick *et al.*, (2010).

Conforme Figura 9, na zona de pegajosidade, há formação de pontes líquidas entre partículas, ligando a superfície da partícula dissolvida com outra superfície (adesão), iniciando a formação de *caking*. Para os materiais em pó amorfos e solúveis em água, o amolecimento do produto pode ser obtido tanto pelo aumento da temperatura quanto pelo aumento do conteúdo de umidade, que resulta na redução da Tg. A água atua como um plastificante, aumentando a mobilidade molecular do material (FITZPATRICK *et al.*, 2010). A transição vítrea é também dependente do tempo, por isso a aglomeração indesejada pode também ocorrer na estocagem dos alimentos em pó.

Para minimizar os problemas com *stickiness*, (no qual pode impactar na perda de qualidade do produto devido adesão na câmara de secagem e alteração sensorial, bem como redução na eficiência do processo devido à coesividade das partículas na superfície da parte cônica do equipamento) pode-se realizar a adição *carriers* de alta massa molecular que ajudam a aumentar a temperatura de transição vítrea da mistura, controle de umidade e condições de baixa temperatura em toda a cadeia, ajuste no fluxo de alimentação durante o processo e resfriamento rápido do produto, uso de ar desumidificado e modificação da superfície por proteínas para encapsulamento dos açúcares (MUZAFFAR K *et al.*, 2015).

3.5.2 Atividade de água

A atividade de água (a_w) é uma propriedade termodinâmica correlacionada com as velocidades das transformações químicas, bioquímicas e microbiológicas que ocorrem nos alimentos. É definida pela razão entre a pressão parcial do vapor da água contida no alimento

(P) e a pressão de vapor da água pura (P_0), nas mesmas condições de temperatura e pressão. No equilíbrio termodinâmico, considera-se que a atividade de água do alimento é igual à umidade relativa do ambiente (SILVA, 2021). Nessa condição, a atividade de água pode ser expressa pela Equação 1.

$$a_w = \left[\frac{P_a^v}{P_0^v} \right]_{P,T} \quad (1)$$

Como a atividade de água é um fator de grande importância na determinação da qualidade e segurança dos alimentos, afetando sua vida útil, textura, sabor e aroma, ela pode ser o fator mais considerável no controle da deterioração de alimentos desidratados. Alta atividade de água indica mais água livre disponível para as reações bioquímicas e, conseqüentemente, vida útil mais curta. Geralmente, alimentos com a_w menor que 0,6 são considerados microbiologicamente estáveis, logo as alterações que ocorrem nesses alimentos são induzidas principalmente por reações químicas (SILVA, 2021).

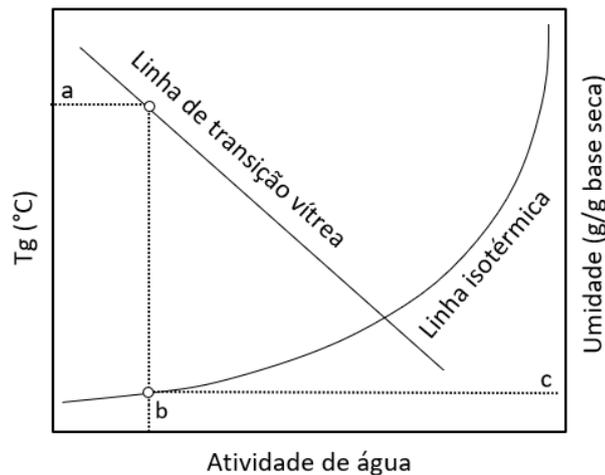
A maioria das reações químicas e atividades microbiológicas são controladas diretamente pela atividade de água, pois a mesma representa a disponibilidade de água para o crescimento de microrganismos e para as reações químicas e bioquímicas que alteram o produto. Geralmente, o objetivo principal da desidratação de alimentos é prolongar sua vida útil, além de obter produtos com características especiais. Isso é atingido através da redução da atividade de água (a_w) do alimento a um valor tão baixo que irá inibir o crescimento e desenvolvimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes, reduzindo significativamente a atividade enzimática e a taxa em que as reações químicas indesejáveis ocorrem (PORCIUNCULA, 2014).

A a_w afeta não somente as taxas de alterações microbiológicas, mas também influencia as alterações químicas. Em a_w entre 0,4 e 0,8 pode ocorrer o aumento da velocidade das reações químicas e enzimáticas devido à alta concentração dos reagentes (CELESTINO, 2010). Em $a_w < 0,2$ todas as reações são praticamente inibidas, exceto a oxidação lipídica, que sofre uma rápida elevação neste nível de a_w .

Alimentos com baixo conteúdo de umidade e Tg acima da temperatura de estocagem podem ser considerados estáveis, mas um aumento significativo na umidade reduz a temperatura de transição vítrea (KUROZAWA, 2009). Quando a temperatura de transição vítrea do produto é igual à temperatura ambiente na qual ele se encontra, o valor do conteúdo de umidade ou da atividade de água do produto é considerado crítico (SHRETHA *et al.*, 2007). Conforme Roos e Karel (1991), todos os produtos amorfos são metaestáveis e sujeitos ao

caking ou à cristalização durante a estocagem. A estabilidade desses produtos está extremamente associada com a T_g , a qual depende das condições de estocagem como da atividade de água, umidade ou temperatura.

Figura 10 – Determinação da atividade crítica de água (a_{wc}) e do teor crítico de água (X_c) para produtos alimentícios desidratados, com base no efeito da adsorção de água e temperatura de transição vítrea.



Fonte: Foerst (2011).

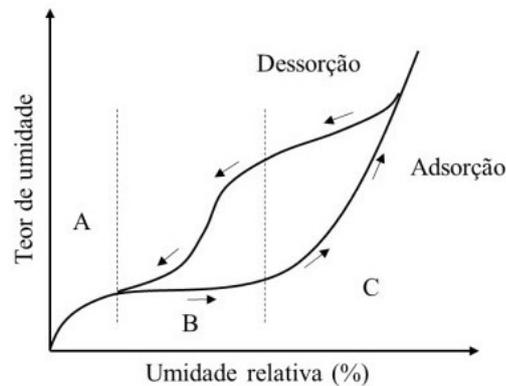
A Figura 10 mostra um exemplo de gráfico utilizado para obter as condições críticas de armazenamento de produtos desidratados. O conteúdo crítico de água e a atividade de água (X_c e a_{wc}) são os valores nos quais a temperatura de transição vítrea de um produto é igual à temperatura ambiente. Acima desta temperatura, os produtos amorfos são suscetíveis a alterações indesejáveis, como pegajosidade e empedramento, resultando em perda de qualidade. Quando a T_g for igual à temperatura ambiente, a a_{wc} representa a a_w máxima em que o produto pode ser armazenado, sem sofrer essas alterações. Quando armazenado nesta atividade de água, o produto possui um teor de água correspondente a X_c .

3.5.3 Isotermas de Sorção

As isotermas de sorção de umidade fornecem informações para operações de processamento de alimentos, bem como para prever a qualidade e estabilidade de um produto durante o armazenamento (PAVAN; SCHMIDT; FENG, 2012). As isotermas de sorção de umidade podem ser obtidas a partir de processos de adsorção (reidratação de uma amostra seca)

ou processos de dessorção (desidratação de uma amostra úmida), sendo que a diferença entre essas curvas é definida como histerese (SILVA, 2021).

Figura 11 – Isoterma típica de sorção de umidade.



Fonte: Adaptado de Labuza e Altunakar (2020)

Na Figura 11 é apresentada uma isoterma típica de sorção de umidade, na qual podem ser observadas três regiões distintas, que dependem do tipo de interação da água com os componentes do alimento. A diferença entre as curvas de adsorção e de dessorção apresentadas na Figura 11 é definida como histerese. A histerese é observada em muitos alimentos higroscópicos. Durante a adsorção, os capilares se enchem de líquido devido ao aumento da umidade relativa.

Quando a pressão parcial do vapor no ar se torna maior que a pressão de vapor do líquido nos capilares, há uma movimentação da água em direção aos poros. Durante a condensação do vapor nos poros, há formação de bolhas de ar, causando uma descontinuidade da fase líquida. Na dessorção, os poros encontram-se inicialmente cheios de líquido saturado. A saída do líquido contido nos poros só ocorre quando a pressão no seu meio se torna menor que a pressão de vapor do líquido dentro dos capilares. As isotermas dividem-se em várias regiões, segundo a quantidade de água presente. A região A representa a água fortemente ligada, com entalpia de vaporização consideravelmente mais elevada que a da água pura (MUHTASEB *et al.*, 2002).

O teor de umidade da monocamada, teoricamente, representa a adsorção de moléculas de água na primeira camada. Geralmente, as moléculas de água nessa região são incongeláveis e não estão disponíveis para reações químicas (PORCIUNCULA, 2014). A região B representa as multicamadas acima da monocamada, onde as moléculas de água estão menos ligadas ao sólido, e a entalpia de vaporização é pouco maior que a da água pura. Essa água é disponível como solvente para solutos de baixa massa molar e para algumas reações bioquímicas. Na região C a água presente está em excesso nos macrocapilares ou como parte da fase fluida em

materiais com alto teor de umidade. A água é conhecida como água livre e está fracamente ligada ao alimento. Nesta região ocorre a maior parte das reações de degradação e crescimento microbiano (MUHTASEB *et al.*, 2002).

Assim, as isotermas de sorção são ferramentas muito importantes na caracterização dos alimentos e na previsão do seu comportamento antes, durante e depois do seu processamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATÉRIAS-PRIMAS

O suco de acerola verde clarificado concentrado (Figura 12), foi adquirido do fabricante Niagro Nichirei do Brasil (lote: 1.2202.03913), com os seguintes dados físico-químicos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1– Análises físico-químicas do suco de acerola verde clarificado concentrado.

Análises	Resultados
Brix (20°C)	48.5
pH	2.93
Transmitância (%)	87.2
Sólidos totais	46.1
Teor de ácido ascórbico (%)	18.45
Data de produção	15.01.2022
Data de validade	15.01.2025

Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 12 – Suco concentrado clarificado de acerola.



Fonte: Próprio autor (2023).

Além do suco, foram utilizados os seguintes *carriers* no estudo: Nutriose FM06 (Tovani Benzaquen ingredients), Promitor[®] 85N (Tovani Benzaquen ingredients), Goma arábica

(Nexira), Amido modificado N-LOK (Ingredion), Maltodextrina DE 5 (Ingredion), Maltodextrina DE 2 (Avebe).

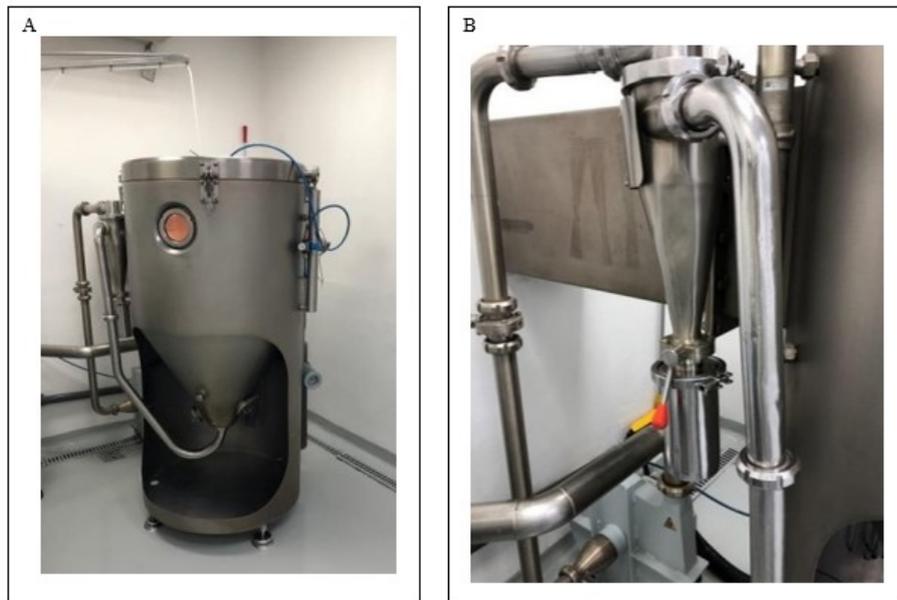
4.2 DISPOSITIVO EXPERIMENTAL (*SPRAY DRYER*)

Utilizado nas etapas de desidratação das suspensões (suco de acerola, água e os *carriers* pertencentes a cada tratamento e ao controle).

Todos os testes foram realizados na unidade Planta Piloto / Sampling da Givaudan S.A. em São Paulo, SP, Brasil.

A alimentação de suspensão no *Spray dryer* foi feita pela bomba peristáltica Watson Marlow 530S, EUA.

Figura 13 – Spray Dryer, marca GEA, modelo Niro mobile Minor Type PSR, Dinamarca (A), Colôtor de partículas secas (B).



Fonte: Próprio autor (2023).

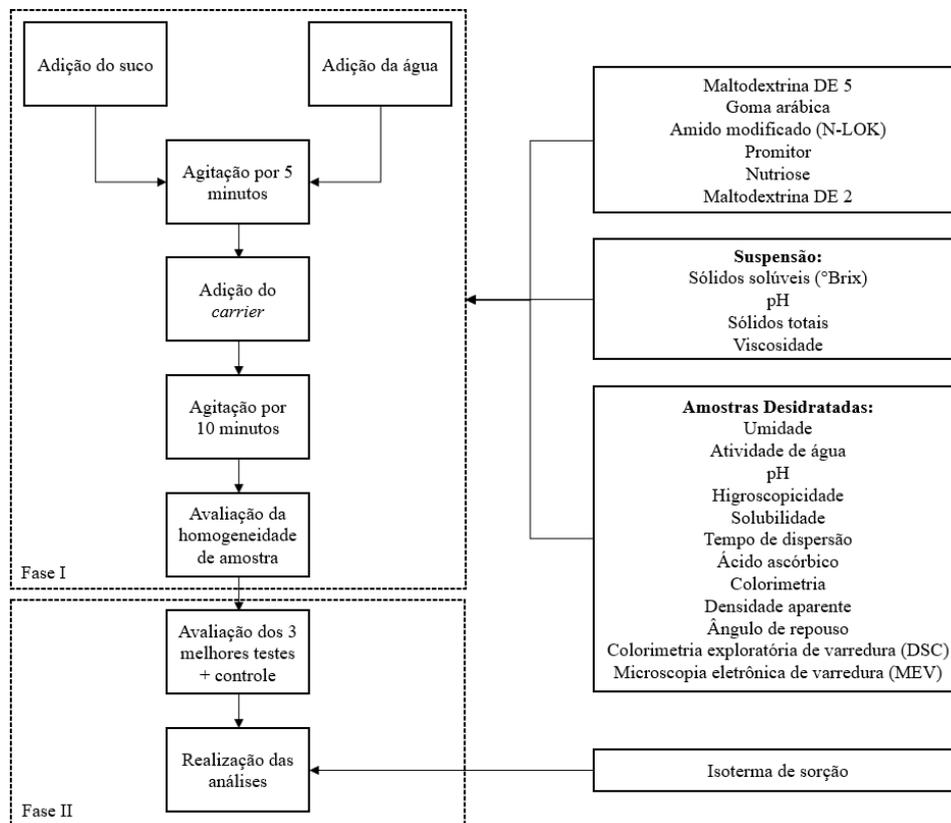
A Figura 13 apresenta a câmara de secagem do *spray dryer*, marca GEA, modelo Niro Mobile Minor Type PSR, Dinamarca, com capacidade de evaporação de água entre 1 e 7 L/h, o ciclone classificador e o coletor de produto final acoplado. O produto final seco sobe pela tubulação mostrada e entra no ciclone, neste ciclone a maior parte do produto é direcionado ao coletor e a porção de produto muito fino acaba saindo pela tubulação de exaustão e vai para o lavador de gases situado na área externa do laboratório.

Via painel de controle, controla-se o fluxo de ar e a temperatura de entrada. A temperatura de saída é medida, contudo o controle desta variável se dá variando a vazão de alimentação via bomba peristáltica.

4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consiste em 6 amostras, sendo uma amostra controle e 5 testes, padronizados com 45 % sólidos, utilizando diferentes *carriers*, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Fluxograma do procedimento experimental.



Fonte: Próprio autor (2023).

O experimento foi separado em 2 fases, sendo que a Fase I consiste em todo o preparo da amostra e suas análises, bem como a maior parte das análises no produto desidratado, e a Fase II será dedicada apenas para a realização de Isoterma de sorção e diagrama de estado em 3 testes e no padrão controle.

4.3.1 Experimentos

Os experimentos foram elaborados com concentrações fixas de todas as matérias-primas, variando apenas o *carrier* a cada teste e a quantidade de água para ajuste da faixa de sólidos das suspensões, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das suspensões: uma amostra controle (P) e 5 testes.

<i>Carriers</i>	P	1	2	3	4	5
Suco de acerola verde	X	X	X	X	X	X
Maltodextrina DE 5	X					
Goma arábica		X				
Amido modificado (N-LOK)			X			
Promitor [®]				X		
Nutriose [®]					X	
Maltodextrina DE 2						X
[°] Brix	45,0	45,2	46,3	46,0	47,0	46,7

Fonte: Próprio autor (2023).

Os parâmetros de secagem também foram pré-fixados com o intuito de identificar o impacto do *carrier* na característica do produto e na transição vítrea de cada amostra.

4.3.2 Preparo das amostras

O suco de acerola verde clarificado concentrado foi descongelado, posteriormente diluído e foram adicionados os *carriers* de secagem conforme descrito a seguir, tendo todos os testes padronizados com 45[°]Brix e teor de vitamina C em 19,5 %, haja vista que após a secagem ocorre degradação da mesma.

Todos os materiais foram pesados utilizando uma balança de bancada modelo ML 6001T da Mettler Toledo, EUA.

A preparação da suspensão foi realizada com o auxílio do agitador de bancada Fisatom 713D, Brasi a 600 rpm. Com a suspensão preparada, iniciou-se a etapa de secagem do produto.

Cinco agentes carreadores foram utilizados neste estudo: Maltodextrina DE 5 (Ingredion, São Paulo, Brasil) (S), Goma Arábica (Nexira, Rouen, França) (T1), Amido modificado (N-LOK[®], Ingredion, São Paulo, Brasil) (T2), Fibra solúvel de milho (Promitor[®] 85N, Ingredientes Tovani Benzaquen, São Paulo, Brasil) (T3), Fibra solúvel de milho (Nutriose[®] FM06, Ingredientes Tovani Benzaquen, São Paulo, Brasil) (T4), Maltodextrina DE 2 (Avebe, Veendam, Holanda) (T5).

Composição amostra controle (P): 1,85 kg de suco, 1,035 kg de maltodextrina DE 5 e 1,37 L água.

Composição dos testes: 1,85 kg de suco, 1,035 kg de *carrier* e 1,37 L água.

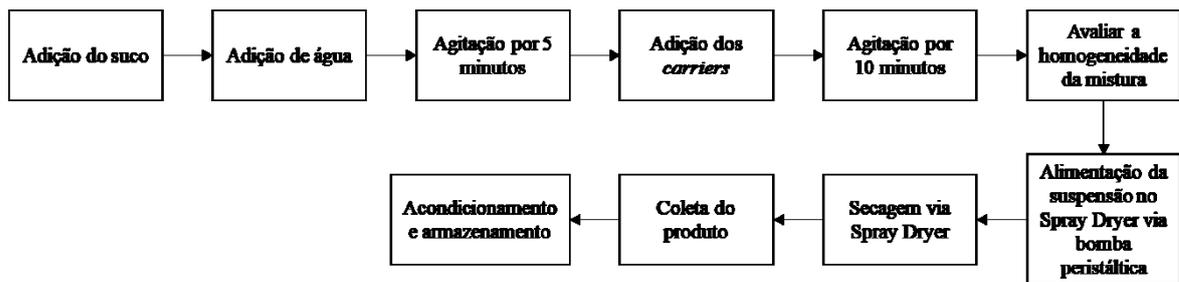
Tabela 3 - Identificação das amostras.

Amostra	Carrier	°BRIX
P	Maltodextrina DE 5	45,0
T1	Goma arábica	45,2
T2	Amido milho N-LOK [®]	46,3
T3	Promitor [®] (fibra milho)	46,0
T4	Nutriose [®] (fibra milho)	47,0
T5	Maltodextrina DE 2	46,7

Fonte: Próprio Autor (2023).

O preparo da suspensão seguiu a sequência abaixo conforme fluxograma na Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma ilustrativo com as etapas experimentais básicas dos experimentos realizados.



Fonte: Próprio autor (2023)

A avaliação da homogeneidade da mistura foi realizada de forma visual, visando observar potenciais fenômenos tais como floculações, precipitações ou formação de grumos. Caso ocorra, faz-se necessário um maior período de agitação para garantir tal homogeneidade.

Quanto ao acondicionamento, foram utilizadas embalagens metalizadas com o intuito de reduzir o contato do ácido ascórbico com a permeabilidade ao oxigênio de embalagens de polietileno e da luminosidade, fatores nos quais catalisam a degradação da vitamina C.

4.3.3 Parâmetros utilizados no Spray dryer

Os parâmetros foram testados e fixados a fim de avaliar a influência e performance do *carrier* em cada formulação.

- Temperatura do ar de entrada: $130 \pm 5^\circ\text{C}$
- Temperatura de saída: $90 \pm 5^\circ\text{C}$

- Pressão do ar de entrada: 1.5 bar
- Velocidade média da bomba peristáltica: 1L / h

Estas temperaturas foram pré-determinadas devido a alta concentração de açúcares e a presença de muitas moléculas de baixa transição vítrea, além disso, a concentração mínima esperada era de 17% vitamina C, reduzindo ainda mais a transição vítrea, aumento potencial da pegajosidade e adesão na câmara.

Durante os testes foram coletados dados de temperatura de entrada e saída, tempo de processo, pressão do ar e vazão de alimentação. Ao longo do processo foi observado o nível de incrustação de material na câmara. Ao final do processo, o produto final retido no coletor foi pesado e posteriormente as amostras foram coletadas para realizar as análises laboratoriais.

4.4 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Foram realizadas análises na suspensão antes da secagem e na caracterização dos desidratados, a fim de correlacionar os dados pré e pós secagem.

Na suspensão foram analisadas: pH, sólidos solúveis (°Brix), sólidos totais e viscosidade, enquanto nas amostras desidratadas foram analisadas: umidade, atividade água, pH, tamanho de partícula, solubilidade, tempo de dispersão, ácido ascórbico, colorimetria, Densidade aparente, ângulo de repouso, calorimetria exploratória varredura (DSC), microscopia eletrônica varredura (MEV), isotermas de sorção. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

4.4.1 pH

As medidas de pH das suspensões líquidas foram realizadas utilizando um potenciômetro digital da marca Tecnal (modelo TEC-5), previamente calibrado com soluções padrão de pH ácido (pH 4) e básico (pH 7), faixa de trabalho: 0 – 14 pH, precisão de ± 0.01 e faixa de temperatura de 10 – 60 ($\pm 0,4$) °C. As análises foram realizadas na temperatura de 25°C (AOAC, 1995).

Foi realizada dispersão em uma solução a 10 % do desidratado de acerola em meio aquoso, considerando o mesmo método e equipamento.

4.4.2 Sólidos solúveis (° Brix)

A análise de sólidos solúveis foi realizada utilizando o refratômetro digital (Reichert technologies/Ametek, modelo AR200, USA, 2019).

4.4.3 Sólidos totais

A medição de sólidos totais foi realizada através de um analisador de umidade por infravermelho (Gehaka, modelo IV2500, 2018, Brasil).

A análise inicialmente é realizada programando o equipamento para análise de sólidos, com um set point de 160°C, ao atingir a temperatura adiciona-se 1 g de amostra e realiza-se a leitura do resultado.

4.4.4 Viscosidade

As suspensões foram analisadas através de um viscosímetro Brookfield, modelo DV-I Prime, utilizando Spindle S00, 10 rpm, com torque superior a 40 %.

As amostras de 600 mL foram mantidas a temperatura ambiente, coletou-se 150 mL em um copo receptor já com o equipamento configurado. Ao se estabilizar a leitura e o torque confiável, realiza-se a coleta dos resultados.

4.4.5 Umidade

O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico em estufa (TECNAL, modelo TE-394/2, Piracicaba, Brasil) conforme o método da AOAC (2005), a 105 °C por 4 horas, utilizando uma balança analítica com precisão de 0,0001 g (Shimadzu, AY220, Filipinas).

4.4.6 Atividade de água

As análises de atividade de água foram realizadas utilizando-se o medidor de atividade de água (Novasina AG, modelo Labswift, Suíça) disponível na empresa. A medição do aparelho é via infravermelho, através do princípio de medição resistiva eletrolítica.

4.4.7 Solubilidade

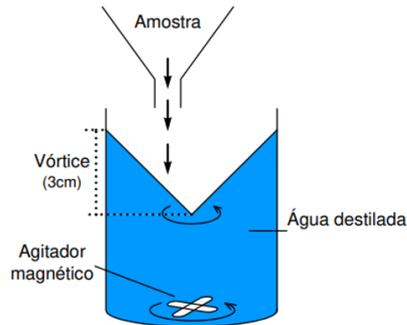
Para determinação da taxa de solubilidade, dada em porcentagem, seguiu-se a metodologia de DACANAL e MENEGALLI (2009), com algumas adaptações.

O teste de solubilidade consistiu na adição de 2,5 g de pó de acerola para um recipiente contendo 250 ml de água destilada sob agitação, mantendo a altura do vórtice em 30 mm, conforme Figura 16. Após 1 min de agitação, a solução foi rapidamente filtrada e o filtro

contendo as partículas não dissolvidas foram secas a 105°C, até peso constante. A solubilidade do pó foi avaliada a partir da fração de material dissolvido, sendo determinado a taxa de solubilidade pela Equação 2.

$$S = \frac{\text{material dissolvido}}{\text{massa inicial de amostra}} \times 100 \quad (2)$$

Figura 16 - Esquema do dispositivo utilizado para o teste de solubilidade.

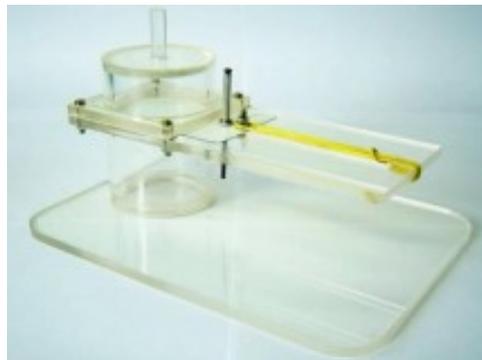


Fonte: Dacanal (2009).

4.4.8 Tempo de dispersão

A análise do tempo de dispersão foi realizada com o auxílio do aparato mostrado na Figura 17, que possui um recipiente para o líquido e uma lâmina logo acima dele. Seu resultado demonstra o tempo para a dissolução completa de um pó no meio líquido. Para isso, coloque 80 mL de água destilada a 25 °C dentro do recipiente para o líquido e coloque 1 g da amostra sobre a lâmina. Em seguida, com o auxílio de um elástico, a lâmina é movimentada, e começa a ser medido o tempo que as partículas levam para ficarem completamente submersas na água (DACANAL; MENEGALLI, 2010). Os testes foram triplicados para garantir a precisão dos resultados.

Figura 17 – Aparato para medir o tempo de dispersão.



Fonte: Dacanal (2005).

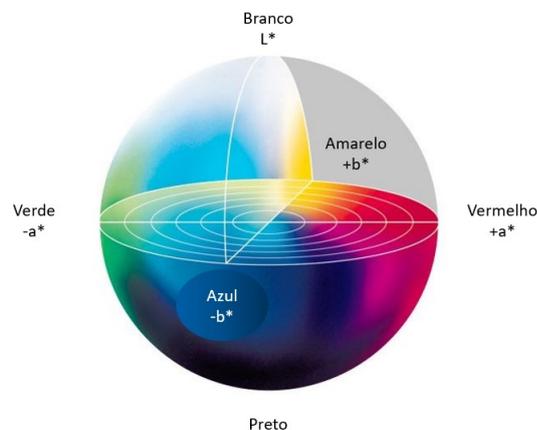
4.4.9 Colorimetria

Para análise da cor, foi utilizado um colorímetro (DELTA VISTA®, modelo 450 G, Software i7). Onde foram anotados os parâmetros L^* , a^* e b^* , com faixa de comprimento de onda entre 400 – 740 nm, resultando nas coordenadas colorimétricas em valores de luminosidade (L^* , faixa entre o preto e branco, 0-100) e cromaticidade (a^* , grau de verde ao vermelho, -60 para +60; e b^* , grau de azul ao amarelo, -60 para +60). Todos os testes foram realizados em triplicata. A variação de cor foi avaliada pelo parâmetro ΔE^* tomando como referência a amostra controle (P) (L_0 , a_0 e b_0), conforme Equação 3.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (3)$$

Onde o parâmetro L^* indica o brilho entre preto/ branco ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco), o parâmetro a^* mede o vermelho/verde ($+a^* =$ vermelho e $-a^* =$ verde) e o parâmetro b^* mede a tonalidade amarelo/azul ($+b^* =$ amarelo e $-b^* =$ azul).

Figura 18 – Coordenadas colorimétricas, sistema CIELab.



Fonte: Adaptado de Prado *et al.* (2014).

4.4.10 Ácido Ascórbico

Adaptado de LISBOA (2013), a solução padrão de ácido ascórbico foi preparada com 1,0 mg de ácido ascórbico em 10 mL de água. 50 mg de extrato seco de acerola foram pesados em 100 mL água. Para a quantificação, ambas soluções foram injetadas no HPLC seguindo os parâmetros a seguir: HPLC fase-reversa utilizando coluna cromatográfica Hypersil ODS-2 C18

(150 x 4,6 mm x 5 μ m) em temperatura a 25° C, fluxo de 1,0 mL/min, volume de injeção de 10 μ L. As fases móveis utilizadas foram: Ácido fórmico 0,1% em Acetonitrila (99 :1). O tempo de corrida foi de 10 minutos. A detecção foi em 243 nm. Os resultados foram expressos em % de ácido ascórbico.

4.4.11 Densidade aparente

A avaliação da densidade aparente foi realizada com a utilização de um picnômetro de metal de 25 ml. Para isso, adicionou-se uma certa quantidade de amostra até completar o volume total do picnômetro e com auxílio de uma espátula retirou-se o excesso. O picnômetro foi pesado e foi registrada a massa da amostra. A densidade aparente é obtida através da Equação 4 a seguir:

$$da \text{ (g/L)} = \frac{m}{0,025} \quad (4)$$

Onde da é densidade aparente e m é massa da amostra.

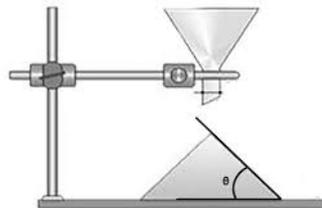
4.4.12 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso foi determinado segundo metodologia descrita por ANSEL, 2007. Coloca-se o pó em um funil de aço deixando-o escoar e cair sobre uma superfície (Figura 19). A altura e o diâmetro do cone formado são medidos e através da Equação 5, pode-se calcular o ângulo de repouso.

$$\tan(\theta) = \frac{h}{r} \quad (5)$$

Onde h é a altura e r é o raio do cone.

Figura 19 – Aparato para determinação de ângulo de repouso estático e velocidade de escoamento.



Fonte: Ferreira (2019).

4.4.13 Tamanho de Partícula

A distribuição granulométrica foi determinada por difração a laser utilizando um difratômetro a laser modelo LS 13 320 (Beckman Coulter, Miami, EUA) e módulo Tornado Dry Powder system.

O produto foi homogeneizado e com o auxílio de uma espátula, colocou-se 10 gramas de amostra até atingir a primeira marca da proveta graduada. Colocou-se a proveta no equipamento que succiona o pó e ajusta automaticamente a opacidade através do controle do vácuo, conforme Figura 20.

Conforme PEREIRA (2015), a distribuição granulométrica das partículas foi avaliada por meio do diâmetro médio d_{10} , d_{50} , d_{90} .

Figura 20 – Aparato para ajuste de opacidade através do controle do vácuo.



Fonte: Próprio Autor (2023).

A fim de comparar a medição dos valores, foi calculado a distribuição do tamanho das partículas (span) pela Equação 6:

$$span = \frac{d_{90} - d_{10}}{d_{50}} \quad (6)$$

Onde, d_{10} , d_{50} , d_{90} representam o diâmetro médio equivalente a 90%, 50% e 10% do volume cumulativo, respectivamente (HIJO *et al.*, 2014).

4.4.14 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A temperatura de transição vítrea (T_g) foi determinada utilizando um DSC (instrumento TA, modelo Q20, New Castle, DE, EUA) com um gás de arrastamento N_2 com um caudal constante de N_2 de 50 mL/min. Dez miligramas de cada amostra foram pesados numa balança analítica e colocados em cápsulas de alumínio TA.

Os termogramas das amostras foram obtidos numa gama de temperaturas de $-10\text{ }^\circ\text{C}$ a $110\text{ }^\circ\text{C}$, com uma taxa de aquecimento constante de $5\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$. Os resultados foram analisados no software Universal Analysis 2000 (Versão 4.5A, instrumento TA, New Castle, DE, EUA).

4.4.15 Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV)

As microscopias dos pós de acerola foram obtidas usando uma tensão de aceleração de 15 kV com aumento de 50 vezes em um microscópio eletrônico de varredura (JEOL, Modelo e JSM 6390LV, Japão). no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina. Os pós secos de acerola foram colocados em stubs com auxílio de fita dupla face de carbono e revestidos com ouro em metalizador (LEICA EM, Modelo - SCD500, Alemanha).

4.4.16 Isotermas de sorção

As isotermas de sorção de umidade foram determinadas pelo método estático em dessecadores. Os amostras foram desidratadas em dessecador com pentóxido de fósforo por 20 dias, à temperatura ambiente.

Tabela 4 – Atividade de água de soluções salinas saturadas.

Solução salina saturada	Atividade de água
Cloreto de lítio	0,116
Cloreto de magnésio	0,327
Carbonato de potássio	0,438
Nitrato de magnésio	0,529
Nitrato de sódio	0,645
Cloreto de sódio	0,753
Sulfato de amônio	0,810
Cloreto de potássio	0,843
Cloreto de bário	0,903

Fonte: Moraes (2013).

Após este período, amostras de aproximadamente 0,3 g foram pesadas em balança analítica (Shimadzu AY 220, $\pm 0,0001\text{g}$) e colocadas em recipientes contendo diferentes

soluções saturadas de sais (Tabela 4). Estes recipientes foram colocados em estufa com temperatura de 25 °C. Após oito dias, com o equilíbrio alcançado, as umidades das amostras foram determinadas em estufa a 105 °C por 24 horas.

Os dados experimentais foram representados matematicamente pelo modelo de GAB (Guggenheim - Anderson - de Boer) apresentado na Equação 7 a seguir:

$$X = \frac{k \times X_m \times C \times a_w}{(1 - k \times a_w)(1 + k \times a_w(C - 1))} \quad (7)$$

Em que a_w é a umidade de equilíbrio, k é a constante de GAB relacionada à energia de interação das moléculas adsorvidas na multicamada, C é a constante relacionada à energia de interação das moléculas na monocamada e X_m é a umidade na monocamada. A determinação dos parâmetros do modelo da Equação 7 foi realizada por regressão não-linear usando o método Quasi-Newton, através do programa Statistica 6.0 (StatSoft, Tulsa, Estados Unidos).

4.4.17 Análise estatística

Os resultados foram avaliados por ANOVA one-way ao nível de 95% de probabilidade. No caso de efeitos significativos ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Essas análises foram realizadas com o software Statistica 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS SUSPENSÕES

Os resultados da caracterização das suspensões, pH, viscosidade e sólidos solúveis estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de pH, viscosidade da suspensão e sólidos solúveis (°Brix) do pó da polpa de acerola com diferentes *carriers*.

Amostra	Viscosidade da suspensão (cP)	pH	°Brix
P	60,000 ± 0,707 ^d	3,275 ± 0.095 ^a	45,0
T1	171,950 ± 0,495 ^b	3,375 ± 0.095 ^a	45,2
T2	116,550 ± 1,202 ^c	3,350 ± 0.057 ^a	46,3
T3	15,350 ± 0,636 ^f	3,250 ± 0.057 ^a	46,0
T4	22,350 ± 0,354 ^c	3,375 ± 0.095 ^a	47,0
T5	343,950 ± 0,919 ^a	3,375 ± 0.095 ^a	46,7

^{a-f} Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

Como observado na Tabela 5, é possível analisar um comportamento similar em relação aos valores de pH, uma vez que todos os tratamentos apresentaram pH abaixo de 3,5, indicando estabilidade frente ao crescimento microbiano. É possível observar que não houve diferença significativa entre os resultados encontrados. A variação entre os diferentes tratamentos pode ser justificada pela característica do *carriers*, que apresentam caráter mais básico, fazendo com que haja um leve aumento no valor do pH, quando comparado ao pH do suco de acerola. Abreu et al. (2016) também observaram aumento do pH com adição de *carriers*, apresentando valores de pH de 3,78 e 3,28 com o uso de Goma Arábica e Maltodextrina, respectivamente.

A viscosidade da solução, medida a 25 °C, foi significativamente menor nas suspensões T3 e T4, preparadas com fibra solúvel de milho de diferentes marcas. A Suspensão T5 apresentou maior viscosidade, devido ao menor grau de hidrólise da Maltodextrina (equivalente dextrose, DE 2) em comparação à P (DE 5). Ambas as amostras, T1 e T2 apresentaram viscosidade intermediária semelhante. Foi relatado que a viscosidade da alimentação tem efeitos significativos na microencapsulação por secagem por pulverização (DI

BATTISTA *et al.*, 2015); na verdade, altas viscosidades levam à formação de gotículas alongadas e grandes que afetam adversamente a taxa de secagem (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007). A amostra T5 apresentou o maior valor de viscosidade ($345,05 \pm 1,75$ cP), enquanto o tratamento T3 mostrou-se com o menor valor ($16,50 \pm 0,70$ cP), isso porque esta fibra (Nutriose[®]) tem por característica ser totalmente solúvel em água fria, sem induzir ao aumento da viscosidade (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014).

A viscosidade da suspensão é um dos parâmetros mais importantes na secagem por *Spray dryer*, influenciando não somente no rendimento, como também nas propriedades finais apresentadas pelo produto. No sistema de secagem por pulverização, o efeito da colisão das partículas depende do contato e dos parâmetros da gota, bem como das propriedades termofísicas do sistema (DURUBAL *et al.*, 2023). De acordo com Cao *et al.* (2000) o aumento na concentração de sólidos faz com que haja um aumento da viscosidade, e conseqüentemente resulte em pós com maiores densidades, resultando em um maior rendimento do processo.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

No processo de secagem por *spray dryer*, as propriedades físico-químicas dos pós são de extrema importância para a compreensão do processo, em que serão avaliados a eficiência e características, podendo assim, fazer uma previsão do comportamento durante o armazenamento, bem como sua degradação (FELIX, 2014).

Na tabela 6 são apresentados os valores de umidade e a_w , viscosidade da suspensão, tamanho de partícula e sólidos solúveis (°Brix), do pó de acerola com diferentes *carriers*.

Tabela 6 – Dados de umidade, a_w , viscosidade da suspensão, tamanho de partícula e sólidos solúveis (°Brix), do pó da polpa de acerola com diferentes *carriers*.

Amostra	Umidade (g/100g b.s)	a_w	Tamanho de partícula d_{10} (μm)	Tamanho de partícula d_{50} (μm)	Tamanho de partícula d_{90} (μm)	<i>span</i>
P	5.425 ± 0.095^a	0.350 ± 0.008^{ab}	9.113 ± 1.261^b	20.090 ± 0.812^{bc}	44.090 ± 2.470^c	1.741
T1	5.275 ± 0.095^{ab}	0.307 ± 0.009^d	8.563 ± 1.200^b	27.530 ± 0.890^a	77.027 ± 1.155^a	2.487
T2	5.050 ± 0.129^{bc}	0.335 ± 0.005^{bc}	8.150 ± 0.874^b	25.785 ± 0.934^a	79.958 ± 0.948^a	2.785
T3	4.250 ± 0.129^d	0.327 ± 0.009^c	7.963 ± 0.794^b	17.695 ± 1.122^c	34.890 ± 0.840^d	1.522
T4	5.005 ± 0.137^c	0.332 ± 0.012^{bc}	14.848 ± 1.765^a	28.752 ± 1.683^a	62.845 ± 1.285^b	1.669
T5	5.075 ± 0.095^{bc}	0.355 ± 0.005^a	8.588 ± 1.514^b	22.500 ± 2.060^b	43.170 ± 2.350^c	1.537

^{a-f} Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

O teor de umidade dos produtos secos por atomização é influenciado principalmente pela temperatura de entrada e saída do ar. Sendo assim, quanto maior a temperatura de saída do ar, menor será a umidade final do produto (TONON *et al.*, 2008). Isso acontece porque, quando a temperatura de saída é mais alta, a taxa de transferência de calor para a partícula é maior, consequentemente proporciona uma maior força motriz para o processo de evaporação da umidade (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

A caracterização quanto a umidade e a_w são fundamentais para a estabilidade e armazenamento do pó (QADRI *et al.* 2023). Observa-se na Tabela 6 que o valor da umidade dos pós variou de $4,250 \pm 0,129$ a $5,425 \pm 0,096$ g/100g, estes níveis de umidade confirmam a eficiência do processo de secagem da polpa de acerola, por *spray dryer*. Rezende *et al.* (2018) relataram 5,53g/100g de umidade para resíduo de acerola com uma mistura de coadjuvantes de secagem composta por Goma Arábica e Maltodextrina, secos por *spray dryer*. Ribeiro (2014), em seu estudo sobre produção de pó de acerola com diferentes métodos de secagem, relatou 4,97g/100g de umidade para pós obtidos por *spray dryer*. Tais resultados vão ao encontro do presente estudo.

Os valores de a_w ficaram na faixa de 0,3 (Tabela 6), indicando uma disponibilidade muito pequena de água, ou seja, os pós obtidos possuem estabilidade frente ao crescimento microbiano e às reações químicas. Conforme citado por Garcia *et al.* (2020), pós alimentícios com valores de $a_w < 0,4$, são considerados estáveis. Baixos valores de atividade de água também foram observados por Pombo (2017) para polpa de Cupuaçu em pó (0,331 com temperatura de 132°C do ar de entrada).

A variação de umidade e a_w pode ser justificada pela afinidade com o conteúdo de água intrínseco na molécula de cada *carrier* e pela variação da temperatura de saída ($90 \pm 5^\circ\text{C}$), sendo que quanto menor a temperatura, maior a vazão, maior a umidade e a_w do particulado.

O teste T3 utilizando fibra hidrossolúvel, apresentou o menor conteúdo de umidade devido a menor viscosidade, menor tamanho de gota e maior facilidade na difusividade de água. Conforme citado por Silveira *et al.* (2013), pequenas gotículas apresentam elevada área superficial, resultando em uma rápida evaporação de água e uma temperatura relativamente baixa, minimizando os danos térmicos ao produto. Segundo Karam *et al.* (2016), produtos resultantes destas variáveis possuem excelente qualidade, isto é, baixa umidade, higroscopicidade e tamanho de partícula.

A reconstituição de um produto em pó sofre influência, principalmente, do tamanho das partículas, o qual pode influenciar na solubilidade e na capacidade de reidratação desses produtos em pó (QADRI *et al.* 2023). As micropartículas apresentaram um diâmetro médio de $28,243 \pm 0,238 \mu\text{m}$. A média dos diâmetros de 10, 50 e 90% do volume dos grupos de partículas foram $9,537 \pm 1,235 \mu\text{m}$, $23,725 \pm 1,250 \mu\text{m}$ e $56,996 \pm 1,509 \mu\text{m}$, respectivamente.

Os valores de *span* refletem o nível de homogeneidade da distribuição dos tamanhos das partículas, sendo assim, quanto maior este valor, mais heterogênea ou polidispersa é sua distribuição (HIJO *et al.*, 2014). É possível observar, pela Tabela 6, que a amostra com menor tamanho de partícula e *span* foi T3, justamente por apresentar a menor viscosidade, refletindo diretamente no tamanho e distribuição das partículas, *carriers* de baixa viscosidade a uma alta concentração de sólidos resultam em partículas mais uniformes e esféricas (OLIVEIRA, PETROVICK, 2010).

A Tabela 7 apresenta as propriedades físicas dos pós de acerola secos por spray dryer com diferentes *carriers*.

Tabela 7 - Dados de solubilidade, tempo de dispersão, densidade aparente e ângulo de repouso do pó da polpa de acerola com diferentes *carriers*.

Amostra	Solubilidade (%)	Tempo de dispersão (sec)	Densidade aparente (g/L)	Ângulo de repouso (°)
P	95.570 ± 2.550^a	189.3 ± 34.3^c	529.25 ± 4.35^d	50.735 ± 1.061^b
T1	78.160 ± 14.190^b	351.9 ± 79.1^b	587.50 ± 3.42^b	51.550 ± 3.180^{ab}
T2	61.780 ± 5.460^a	303.4 ± 79.8^b	560.75 ± 2.22^c	52.637 ± 1.403^{ab}
T3	99.637 ± 0.061^a	47.63 ± 6.14^d	560.50 ± 2.08^c	51.848 ± 0.654^{ab}
T4	99.607 ± 0.076^a	72.25 ± 13.29^d	600.25 ± 2.06^a	52.234 ± 0.791^{ab}
T5	91.160 ± 5.760^{ab}	482.4 ± 62.7^a	509.75 ± 2.06^e	55.130 ± 2.890^a

^{a-f} Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

A solubilidade está relacionada com a capacidade de reconstituição dos pós, portanto quanto maior a solubilidade mais facilmente este pó será reconstituído em solução, é esperado por eles que a solubilização seja rápida, formando uma solução homogênea, sem partículas sobrenadantes ou corpo de fundo (TONON *et al.*, 2008; FELIX, 2014). É possível observar pela Tabela 7, que a amostra T2 apresentou menor solubilidade, acompanhada do tratamento T1, isto ocorre devido as características bioquímicas dos *carriers*, por apresentarem cadeia de

maior peso molecular, conseqüentemente, possuem cadeias mais complexas, o que dificulta a interação de moléculas de água, devido, principalmente à estrutura semicristalina do grânulo e das ligações de hidrogênio que se formam entre os grupos de hidroxila (ELIASSON et al., 2017). As amostras controle (P), T3, T4 e T5 são equivalentes entre si, não apresentando diferença estatística significativa. Oliveira *et al.* (2013) encontraram em seu trabalho, com polpa de morango desidratada com diferentes agentes carreadores, valores de solubilidade similares aos resultados apresentados neste trabalho, sendo 90,37% para a amostra com uso de Maltodextrina DE 5 e 87,15% com o uso de Goma Arábica.

O tempo de dispersão das partículas de pó em um líquido é, usualmente, utilizada para avaliar as propriedades de instantaneização do alimento (DACANAL; MENEGALLI, 2010). As amostras T3 e T4, com adição de Promitor[®] e Nutriose[®], respectivamente, foram os tratamentos com menor tempo de dispersão, ou seja, essas amostras se dispersam muito mais rapidamente, em grande parte por conta das características dessas fibras. Em contrapartida a amostra T5 com Maltodextrina DE 2, apresentou o maior tempo de dispersão, sobretudo pela característica deste *carrier*, que apresenta poucos açúcares, dificultando assim, a interação desta rede complexa de carboidrato com a água. O tratamento com Goma arábica (T1) é equivalente ao tratamento com Amido de milho N lok (T2), justamente por apresentarem características bioquímicas semelhantes, mostrando uma média de tempo de dispersão de $327,75 \pm 74,25$ seg, já a amostra controle (P), tratamento feito com Maltodextrina DE 5, apresentou um tempo de dispersão de $189,3 \pm 0,32$ seg, portanto teve uma melhora significativa quando comparado a Maltodextrina DE 2, uma vez que, possui em sua rede de carboidratos mais unidades hidrolisadas, facilitando assim sua dispersão em água, refletindo diretamente na diminuição do tempo de dispersão.

A densidade aparente dos pós da polpa de acerola apresentou uma média de $558 \pm 2,7$ g/L, demonstrando diferença estatisticamente significativa com $p < 0,05$. Essa baixa densidade está associada ao reduzido teor de umidade das amostras, além das características intrínsecas dos carreadores. Notavelmente, as amostras T5 e P apresentaram menor densidade aparente. Isso se deve ao fato de a Maltodextrina ser um polissacarídeo derivado da hidrólise do amido. Quanto maior a hidrólise desse carboidrato complexo, menor será sua densidade, já que as ligações químicas rompidas resultam em cadeias mais curtas e leves (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Os testes T2 e T3 apresentaram valores de densidade aparente intermediários entre os carreadores estudados. A amostra T1 apresentou uma densidade aparente de $587,5 \pm 3,4$ g/L, devido à composição bioquímica da goma arábica. Essa goma é um biopolímero natural

composto por polissacarídeos complexos, como D-galactose, L-arabinose, L-ramnose e ácido D-glucurônico, além de proteínas de alta massa molar (PATEL; GOYAL, 2015), o que justifica seu maior valor de densidade em comparação com os pós contendo Maltodextrina. Por fim, o teste T4 apresentou a maior densidade aparente, $600,3 \pm 2,1$ g/L, devido à característica bioquímica do agente carreador utilizado, a Nutriose®. Este é um amido parcialmente hidrolisado, considerado uma fibra alimentar, que fornece elementos de alta massa molecular (GUÉRIN-DEREMAUX *et al.*, 2011), o que poderia explicar a maior densidade aparente do pó da polpa de acerola. Em estudo anterior, Cavalcante *et al.* (2017) encontraram uma densidade aparente de 530 g/L para polpa de graviola encapsulada com maltodextrina.

A propriedade do ângulo de repouso, definida como o maior ângulo no qual uma superfície independente de uma pilha de material granular permanece estável, é comumente utilizada para avaliar a fluidez de pós (AL-HASHEMI; AL-AMOUDI, 2018). O manuseio e a fabricação de materiais em pó enfrentam grandes desafios quando esses materiais são submetidos a cisalhamento ou perturbação, pois tendem a se comportar mais como fluidos não-newtonianos do que como sólidos estáveis (KOU *et al.*, 2017). Nesse contexto, nos testes realizados com pós de polpa de acerola, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras, indicando que se enquadram na categoria "coesiva" de acordo com os critérios de classificação para o escoamento de pós (ESCUDEIRO; FERREIRA, 2014), visto que os valores do ângulo de repouso variaram entre $50,735 \pm 1,061^\circ$ e $55,132 \pm 2,887^\circ$.

5.3 COR

Os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e ΔE^* de cada tratamento são apresentados na Tabela 8. A medição da cor é um importante indicador de qualidade, pois reflete a atratividade sensorial e a qualidade dos pós produzidos no processo de secagem por atomização (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

Tabela 8 – Parâmetros de cor do pó da polpa acerola com diferentes *carriers*.

Amostra	Parâmetros da escala CIELab			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
P	91.992 ± 0.591^a	3.188 ± 0.034^{cd}	22.050 ± 0.162^c	0^c
T1	88.210 ± 0.027^c	3.838 ± 0.044^{ab}	24.603 ± 0.486^a	$4,609^d$
T2	90.003 ± 0.953^b	3.973 ± 0.088^a	24.122 ± 0.462^a	$2,977^b$
T3	90.235 ± 0.247^b	3.496 ± 0.012^{bc}	23.565 ± 0.273^{ab}	$2,340^a$

T4	89.960 ± 0.163 ^b	2.972 ± 0.254 ^d	22.877 ± 0.658 ^{bc}	2,204 ^a
T5	90.457 ± 0.573 ^b	4.135 ± 0.502 ^a	23.828 ± 1.207 ^{ab}	2,533 ^{ab}

^{a-d}Letras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

O parâmetro L^* indica a luminosidade da amostra e pode variar de 0 (preto absoluto) a 100 (branco absoluto). A média do padrão L^* foi de $90,143 \pm 0,426$, indicando que os pós obtidos são muito próximos do branco. O tratamento T1 foi o que apresentou o menor valor de L^* , demonstrando ser levemente mais escuro que os demais, uma vez que o *carrier* utilizado apresenta uma coloração bege. A amostra T2 se mostrou equivalente a T3, T4 e T5, não apresentando diferença significativa. A amostra controle foi a que apresentou maior valor de L^* ($91,992 \pm 0,591$), demonstrando ser levemente mais clara que as demais, fato justificado pelo excipiente ser branco, influenciando na coloração do produto.

O parâmetro a^* da escala CIELab indica a coordenada vermelho/ verde, valores negativos estão relacionados aos tons verdes e valores positivos estão relacionados a tons vermelhos, os quais podem ser observados na Tabela 8, todos os valores apresentados pelos tratamentos foram positivos, indicando que as amostras possuem tendência ao vermelho. O valor médio de a^* foi de $3,601 \pm 0,156$, o pó da polpa acerola que apresentou coloração vermelho menos claro foi o tratamento T5, seguido pelas amostras T2 e T1, conforme indicado pelos maiores valores de a^* .

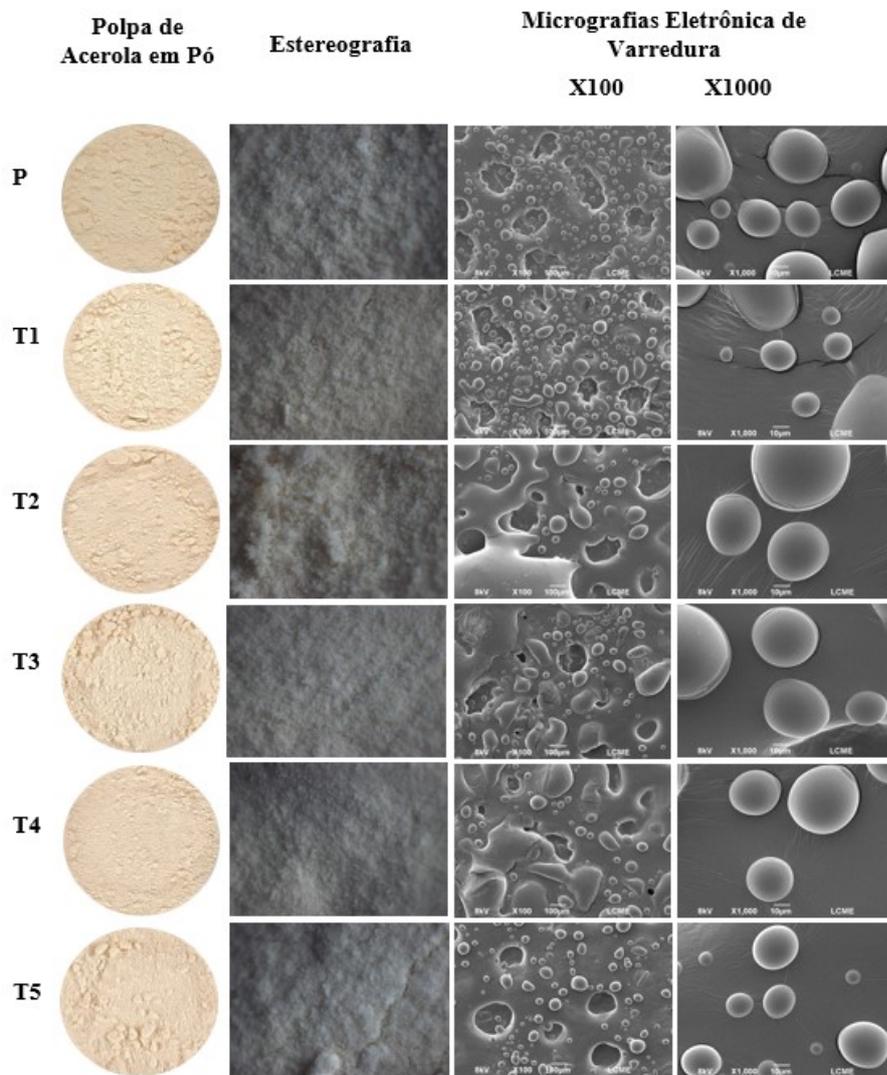
Com relação ao parâmetro b^* , valores positivos indicam que as amostras são mais amarelas e valores negativos indicam proximidade com a coloração azul. Todos os valores encontrados são positivos, demonstrando que os diferentes tratamentos se aproximam da cor amarela. O valor médio do parâmetro b^* foi de $23,508 \pm 0,541$, destaca-se o tratamento T1 que apresentou valores de b^* equivalentes a amostra T2, seguido de T5 e T3. O tratamento que mais se aproximou da amostra controle (P) ($22,050 \pm 0,162$) foi T4 ($22,877 \pm 0,658$).

O valor do ΔE^* é a medida que quantifica a diferença de cor entre as amostras, ou seja, mede a mudança total de cor, quanto maior o valor do delta, maior será a diferença de cor apresentada pelos tratamentos (SILVA *et al.*, 2013). O pó de polpa de T1 apresentou o maior ΔE^* , ou seja, a maior diferença significativa de cor quando comparada à amostra controle (P). Os tratamentos T2, T3, T4 e T5 apresentaram valores muito semelhantes entre si.

5.4 MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS

A Figura 21 apresenta as fotomicrografias de partículas de pó de suco de acerola verde, obtidas por câmera, estereoscópio e microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise da superfície das partículas do pó de suco de acerola verde, obtido por *spray drying*, foi realizada em caráter tridimensional através de microscopia eletrônica de varredura, com aumentos de 100X e 1000X, com a finalidade de efeitos comparativos, também, são apresentadas estereografia e imagens da polpa de acerola em pó, sem aumento.

Figura 21 - Imagens, Estereografias e Micrografia Eletrônica de Varredura (100 e 1000x) do pó da polpa de acerola com diferentes *carriers*.



Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

As micropartículas apresentaram paredes arredondadas contínuas, sem fissuras, com a superfície lisa e uniforme. Tais características são importantes para a integridade da parede, pois podem garantir menor permeabilidade ao oxigênio e ao vapor d'água (FELIX, 2014).

A variação dos materiais de parede impacta na morfologia da partícula, uma vez que materiais higroscópicos tendem a absorver umidade e promover o caking, uma vez que, a higroscopicidade está ligada com a capacidade das partículas absorverem umidade (JAYA; DAS, 2004). Portanto quanto menor a umidade do pó, maior será sua higroscopicidade, a fim de atingir a umidade relativa de equilíbrio com o ambiente (MENDES, 2024). Este fato pode ser observado através das amostras T2, T3 e T4, aos quais apresentaram os menores teores de umidade, levando à fusão parcial das partículas, ocasionado principalmente pela absorção de água do ambiente, que promove a ligação entre o material particulado.

Parâmetros de secagem como temperatura do ar de saída, vazão de alimentação e rotação do disco também contribuem com mudanças morfológicas. Uma vez que a temperatura de saída esteja elevada e a vazão de alimentação esteja baixa, menor será a umidade presente na partícula, o que promoverá menor interação e ligação. Já a rotação do disco irá impactar o tamanho das partículas, afetando assim a distância necessária que a água precisa percorrer durante o processo de difusão do centro da partícula para a superfície (TONON *et al.*, 2008).

5.5 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

As temperaturas de transição vítreas das amostras P, T1, T2, T3 e T4 são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Temperatura de transição vítrea do pó da polpa de acerola com diferentes carreadores - início “Ti”, ponto médio “Tg” e ponto final “Tf”-.

Atividade de água (<i>a_w</i>)	Temperatura (°C)	Amostra					
		P	T1	T2	T3	T4	T5
0.11	<i>T_i</i>	45,71	49,91	45,83	45,93	44,18	44,84
	<i>T_g</i>	57,10	57,39	52,60	54,24	54,16	55,18
	<i>T_f</i>	60,06	59,18	54,53	56,44	56,32	59,49
0.33	<i>T_i</i>	12,47	18,18	4,58	2,52	21,05	16,81
	<i>T_g</i>	21,70	41,47	9,49	6,49	45,37	40,63
	<i>T_f</i>	30,24	56,89	19,70	19,09	55,23	43,06

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

Baseado em conceitos da ciência dos polímeros sintéticos, um plastificante é definido como um “material incorporado em um polímero para aumentar sua flexibilidade e extensibilidade”. A plastificação, em nível molecular, leva à um aumento do espaço intermolecular ou volume livre, diminuindo a viscosidade local e, concomitantemente, aumentando a mobilidade (PORCIUNCULA, 2014).

A água é um dos plastificantes com menor peso molecular, apresentando um valor de Tg extremamente baixo (-139°C). Por ser um forte agente plastificante, a água se torna a principal responsável pela diminuição da Tg em sistemas alimentícios, (BHANDARI & HOWES, 1999). Este fato pode ser observado na Tabela 9, onde estão apresentadas as variações da temperatura de transição vítrea em relação a elevação do conteúdo de água das amostras secas.

Analisando a Tabela 9, pode-se observar uma estabilidade na temperatura de transição vítrea em atividade de água 0,11, devido principalmente à baixa umidade residual no material em pó e transição vítrea dos *carries* utilizados no estado cristalino. As amostras P, T1 e T5 respectivamente (57,1 °C / 57,39 °C / 55,18 °C) apresentaram o maior valor de transição vítrea, sendo que a amostra controle (P) e T5 utilizaram os *carries* de maior peso molecular e transição vítrea no estado cristalino, e obteve-se na amostra T1 o menor resultado de a_w , variação com influência direta na Tg.

Segundo Lago (2010), suco encapsulado e desidratado a 70 °C com menor valor de atividade de água (0,03) teve valor de Tg maior (49,82 °C), enquanto o suco encapsulado com atividade de água de 0,15 apresentou a menor temperatura de transição vítrea (44,74 °C), ou seja, a Tg diminuiu com o aumento da atividade de água no produto.

Conforme Ribeiro (2014), foi possível observar os pós de acerola obtidos por aspersão e liofilização, nos quais os teores de açúcares totais e redutores foram menores no pó obtido em spray dryer. Tal fato pode estar relacionado às perdas de rendimento do processo justificada pela baixa temperatura de transição vítrea dos açúcares e ácidos de baixo peso molecular.

Na mesma Tabela 9, estão apresentados os resultados das amostras com atividade de água 0,33. Amostra controle (P) e testes 1, 4, 5 respectivamente (21,7 °C / 41,47 °C / 45,37 °C / 40,63 °C) tiveram uma menor variação de ΔT quando submetidos a uma diferente pressão de vapor, entretanto os testes 2 e 3 respectivamente (9,49 °C / 6,49 °C) apresentaram uma grande variação de Tg. A razão desta variação pode ser devido aos *carries* amido modificado e fibra solúvel possuírem cadeias hidrolisadas e com ramificações hidrofílicas, sendo assim ambas são

mais suscetíveis a uma maior taxa de absorção de umidade, higroscopicidade, pegajosidade e *caking* a esta dada pressão de vapor.

Tonon *et al.* (2009), afirmou que pós com umidades mais baixas tem maior facilidade em adsorver água, ou seja, são mais higroscópicos, o que está relacionado ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente.

Segundo Santos (2014) existe alta correlação entre o valor de dextrose equivalente do amido hidrolisado e a estabilidade oxidativa conferida na acerola em pó. Com o aumento do DE, aumenta a barreira ao oxigênio e, portanto, a estabilidade oxidativa. Por outro lado, quanto maior o DE, menor a temperatura de transição vítrea, aumentando a probabilidade de aglomeração (*caking*) do pó obtido.

De acordo com Cunha (2019), materiais ricos em açúcares, como o suco de acerola verde, resultam em pós com regiões microcristalinas dispersas na massa amorfa. O estado amorfo é caracterizado por alta higroscopicidade após a desidratação, aumentando a tendência de torná-los pegajosos (*stickness*), causando a aderência de partículas (*caking*) e dificultando a desidratação destes materiais em altas temperaturas devido à baixa Tg.

Os pós com valores mais elevados de Tg foram considerados os melhores resultados para avaliação da isoterma de sorção.

5.6 CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL

Os resultados para caracterização funcional, em termos de teor de ácido ascórbico, encontram-se apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Teor de ácido ascórbico, em porcentagem, do pó da polpa acerola com diferentes *carriers*.

Amostra	Ácido ascórbico (%)
P	18,627 ± 0,053 ^c
T1	19,100 ± 0,044 ^a
T2	18,485 ± 0,034 ^d
T3	17,925 ± 0,020 ^f
T4	18,242 ± 0,035 ^e
T5	18,772 ± 0,045 ^b

a-fLetras diferentes na mesma coluna representam uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios determinados pelo teste de Tukey.

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T2 - Amido milho N-LOK®; T3 - Promitor®; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

Pode-se observar pela Tabela 10, que o carrier com maior eficiência em encapsulamento foi a amostra T1, com goma arábica, ou seja, teve maior capacidade de proteção frente a oxidação do ácido ascórbico, apresentando um teor de $19,100 \pm 0,044\%$. Tal resultado pode ser justificado através das características físico-químicas deste agente encapsulante, como o elevado peso molecular, o qual promove o aumento da transição vítrea do produto e conseqüente redução da higroscopicidade. Dessa forma, há reduções na viscosidade do produto, o que minimiza a aderência das partículas no interior da câmara de secagem e diminui o tempo de exposição a elevada temperatura (FARINHA, 2014).

A amostra T5 ($18,773\% \pm 0,046\%$) e P ($18,628\% \pm 0,053\%$), tiveram resultados inferiores em comparação a amostra utilizando goma arábica. Este resultado é justificado devido ao uso de maltodextrina como agente de encapsulação, mesmo apresentando baixa viscosidade e propriedade de formação de filme, possui baixa temperatura de transição vítrea. Dessa forma, há a formação de cristais sob elevadas temperaturas, o que pode promover a ruptura estrutural da matriz e conseqüente exposição do ativo (ZANOELO, 2022).

Comparando a amostra T5 (maltodextrina DE 2) e a amostra P (maltodextrina DE 5), observa-se que os resultados estão próximos, porém a amostra T5 apresentou resultado ligeiramente superior a amostra P. Este valor pode ser justificado devido a dextrose equivalente, pois quanto maior o valor da DE, mais higroscópica se torna a partícula, aumentando assim sua pegajosidade e aderência no interior da câmara de secagem (SILVA; DEMCZUK; VISENTAINER, 2022).

A amostra T2 contendo amido modificado N-LOK obteve resultado de $18,485 \pm 0,034\%$, o que ficou abaixo dos resultados apresentados pela goma arábica e maltodextrinas. Este valor pode ser justificado devido ao caráter hidrofílico intrínseco a este carrier, assim como fracas propriedades mecânicas. Dessa forma, devido a umidade adquirida ao longo do processo de secagem, há maior aderência na câmara de secagem, o que promove a exposição prolongada a elevada temperatura e conseqüente degradação do ativo (NASCIMENTO, 2023).

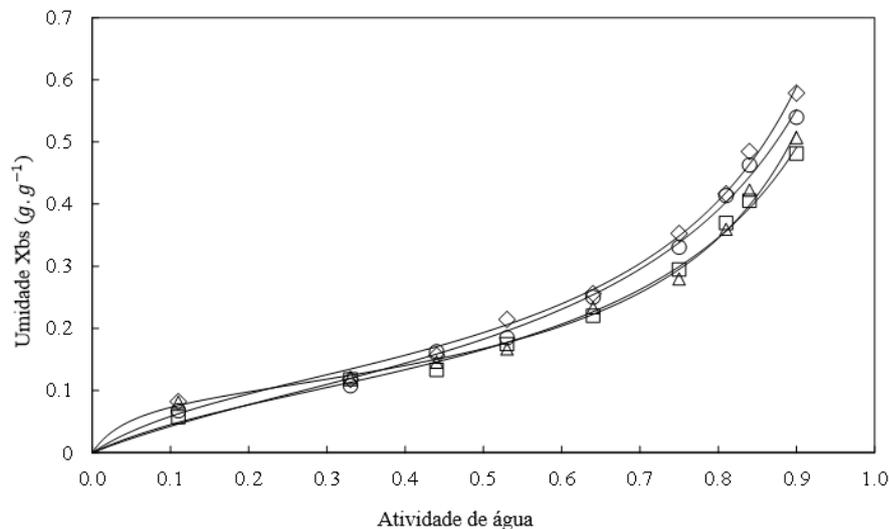
Os agentes de encapsulação Nutriose[®] e Promitor[®], os quais são fibras hidrolisadas, revelaram os menores resultados de teor de vitamina C ($18,243 \pm 0,045\%$ e $17,925 \pm 0,021\%$ respectivamente). Estes resultados podem ser justificados devido às cadeias ramificadas hidrofílicas deste carrier, as quais promovem maior higroscopicidade e pegajosidade, promovendo assim aderência na câmara de secagem e prolongado tempo de exposição a elevadas temperaturas (TONON *et al.*, 2009).

5.7 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

A isoterma de sorção apresentada na Figura 22, fornece a relação entre o teor de umidade de equilíbrio e a umidade relativa do ar, dada uma temperatura. Possuem importância fundamental, pois indicam a atividade de água (a_w) na qual um alimento se mantém estável, possibilitando a previsão dos efeitos e alterações que ocorrerão no produto ao longo do armazenamento (FELLOWS, 2009).

As isotermas das polpas de acerola desidratada são apresentadas na Figura 22 e correspondem ao tipo III, segundo a classificação de Brunauer *et al.* (1940), onde se referem às curvas típicas de alimentos com alto conteúdo de sólidos solúveis. Zotarelli *et al.* (2017) também reportaram isotermas do tipo III para pós de manga, com e sem maltodextrina, produzidos por *spray drying*. Valenzuela e Aguilera (2015b) reportaram o mesmo comportamento para snacks de maçã em forma de filme, produzidos por secagem com ar quente.

Figura 22 - Isotermas de sorção de umidade da polpa de acerola desidratada. Dados experimentais: P (Δ), T1 (\diamond), T4 (\circ) e T5 (\square). As curvas de ajuste do modelo GAB são representadas por uma linha contínua.



Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

A higroscopicidade das amostras produzidas com adição de diferentes carreadores apresentou valores próximos entre si, porém demonstra que houve diferença significativa entre

as amostras, ou seja, a adição dos diferentes carreadores influenciou na capacidade de adsorção de água destas partículas. Ambas as amostras com o uso de maltodextrina resultaram em pós menos higroscópicos. Isso se deve ao fato da maltodextrina ter menor interação com a água, justamente por possuir cadeias de maior peso molecular e maior Tg, conforme Quadro 7.

Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) trabalharam com pó de amora-preta, usando diferentes concentrações de maltodextrina em liofilizador, encontrando valores médios de higroscopicidade de 28,73% para polpa com adição de 5% de maltodextrina, 22,32% para polpa com 15% de maltodextrina e 18,77% para polpa com 25% de maltodextrina. Ou seja, maiores concentrações de maltodextrina resultaram em pós menos higroscópicos, o que está associado ao fato de a maltodextrina ser um material com baixa higroscopicidade, reduzindo a capacidade de adsorção de água dos produtos desidratados em spray dryer.

Oliveira et. al (2014) relataram no seu estudo de liofilização de polpa de cajá que durante o uso de maltodextrina, houve uma redução de higroscopicidade significativa comparada ao ensaio sem maltodextrina. Segundo Tonon et al. (2009) este comportamento se deve ao fato de a maltodextrina ser um material de baixa higroscopicidade e confirma a eficiência do seu uso como agente carreador no sentido de reduzir a higroscopicidade dos produtos desidratados.

Conforme Figura 22, todas as amostras demonstraram alto a_w desde o início do experimento e alta higroscopicidade. A cinética das curvas das amostras padrão usando maltodextrina DE 5 e do Teste 5 com maltodextrina DE2 de batata, apresentaram a menor taxa de absorção de umidade. O mesmo foi encontrado em Oliveira et. al (2014), relataram que durante o uso de maltodextrina, houve uma redução da umidade dos pós também diferiu estatisticamente entre si, o ensaio contendo maltodextrina apresentou menor umidade do que o ensaio sem maltodextrina.

Na Tabela 11 são apresentados os parâmetros do modelo de Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB) e os coeficientes de correlação. O modelo de GAB se ajustou bem aos dados experimentais ($R^2 = 0,99$ e $RMSE \leq 0,01$). Segundo Ribeiro (2014), os modelos matemáticos testados para polpa de acerola em pó apresentaram coeficientes de determinação (R^2) variando entre 0,939 e 0,995, sendo que o pó obtido por liofilização obteve valores de R^2 entre 0,942 e 0,995, que de maneira geral, foram superiores ao do pó obtido em spray dryer que variou de 0,939 a 0,977.

Tabela 11 - Parâmetros do modelo GAB ajustado aos dados experimentais de amostras secas de acerola condicionadas em diferentes umidades relativas.

Parâmetros do modelo GAB	Amostra			
	P	T1	T4	T5
<i>K</i>	0,9054	0,8808	0,8504	0,8612
<i>C</i>	21,8575	7,5478	4,1850	5,8656
<i>X_m</i>	0,0967	0,1264	0,1390	0,1159
<i>RMSE</i>	0,012	0,013	0,013	0,009
<i>R²</i>	0,993	0,994	0,994	0,996

Amostra P – Maltodextrina DE 5; T1 – Goma arábica; T4 - Nutriose®; T5 - Maltodextrina DE 2.

Fonte: Próprio Autor (2024).

A umidade da monocamada (X_m) indica a quantidade de água que está fortemente adsorvida no alimento, sendo um parâmetro importante para predizer a estabilidade física e química dos produtos desidratados (RAHMAN; LABUZA, 2007). Abaixo de X_m , existem taxas mínimas de reações deteriorativas (exceto oxidação). Assim, a uma determinada temperatura, a atividade de água para armazenamento seguro corresponde a X_m ou inferior. No presente estudo, os valores do teor de umidade da monocamada (X_m) variaram entre 0,0967 e 0,1390. Ambas as amostras com maltodextrina tiveram os menores resultados de X_m , devido a menor interação com a água e cadeias de maior peso molecular, reforçando os resultados encontrados com o menor teor de umidade na isoterma.

Quanto menor o X_m , menor a quantidade de água na monocamada, entretanto resultados opostos foram encontrados em outros estudos no qual o valor de X_m mais alto, considerando que esta variável pode ser a atividade de água do produto durante o armazenamento, menor a tendência de absorção de água comparando o gradiente de umidade do produto e do ambiente.

Oliveira et al. (2014) também observaram, no estudo do comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá com adição de 17 % de maltodextrina, elevou o valor do conteúdo de umidade da monocamada.

Os resultados de Braga (2019) demonstram que as amostras contendo maltodextrina apresentaram maiores valores de X_m com 0,128 e 0,141 g água. g⁻¹ sólidos secos para os modelos de GAB e BET, respectivamente, em comparação com as amostras de pó de suco de abacaxi com hortelã sem agente, com valores de 0,124 g água. g⁻¹ sólidos secos em ambos os modelos. Portanto, o pó de suco de abacaxi com hortelã se mostrou mais estável com a adição de maltodextrina, mesmo adicionada em baixa concentração, provavelmente devido a estrutura química menos hidrofílica do carreador.

Oliveira et al. (2012) também observaram, no estudo do comportamento das isotermas do pó de macaúba, que a adição de 8% ($m\ m^{-1}$) de maltodextrina elevou o valor do conteúdo de umidade da monocamada.

Oliveira et al. (2014) avaliaram a variação dos teores de X_m em relação a concentração de maltodextrina na amostra, nos modelos de GAB e BET, observou-se que houve uma diminuição da umidade na monocamada conforme a elevação da concentração de maltodextrina aumenta. A amostra contendo menor teor de maltodextrina mostrou-se mais estável, apresentando maiores valores de X_m em ambos os modelos (GAB e BET) podendo ser exposta a ambientes com maiores umidades relativas se comparada às amostras com maior teor de maltodextrina.

Ambas as amostras com maltodextrina apresentaram menor valor de umidade de equilíbrio na isoterma de sorção, no qual fica evidente que o aumento da atividade de água favoreceu a elevação da umidade de equilíbrio. O mesmo ocorreu com Junior (2017), nas isotermas de adsorção da polpa de manga em pó com 30 % de maltodextrina constatou-se que a partir de uma atividade de água de 0,6 as curvas de temperatura apresentam uma separação possível de distinguir as curvas, onde observou-se que a curva de 40 °C ocupa posição superior, conseqüentemente menor valor de umidade de equilíbrio que as demais temperaturas, comportamento esse apresentado na isotermas de adsorção da polpa de manga com 10 e 20 % de maltodextrina, deixando evidente que o aumento da atividade de água elevou da umidade de equilíbrio em todas as temperaturas testadas e em temperaturas mais elevadas obtiveram-se uma menor umidade de equilíbrio.

O mesmo aconteceu com o teste 4 que apresentou o maior $X_m=0,1390$ e alta higroscopicidade e umidade de equilíbrio conforme comportamento demonstrado na Figura 22. Comportamento semelhante foi encontrado por Pai *et al.* (2015), onde descobriu-se que o Promitor[®] exibia um comportamento de sorção tipo III extremamente higroscópico consistente com oligossacarídeos como as maltodextrinas, que possuem cadeia polimérica mais curta comprimentos e grupos mais hidrofílicos. O comportamento da curva de isoterma de sorção foi semelhante, com ganho de umidade desde o primeiro ponto da isoterma e ganho de umidade total em 40 % em base seca.

No presente estudo encontrou-se resultados semelhantes quanto a amostra Controle (P) (maltodextrina DE5). De acordo com Oliveira *et al.* (2013), a amostra produzida com Maltodextrina DE5 foi a menos higroscópica, seguida pelas produzidas com Goma Arábica,

Maltodextrina DE 10 Capsul[®]. Essa diferença na adsorção de água pode ser explicada pela estrutura química de cada agente carreador. A maltodextrina DE5 é menos hidrolisada que a maltodextrina DE10, possuindo menos grupos hidrofílicos e maior peso molecular; conseqüentemente, adsorve menos água (Ersus e Yurdagel, 2007). A goma arábica, por sua vez, também apresenta um grande número de ramificações com grupos hidrofílicos em sua estrutura, o que pode ser responsável pela adsorção de água do ambiente. Tal característica da goma arábica foi encontrado no presente estudo, onde os valores de $K=7,5468$ e $C=0,8808$ apresentaram alta energia de interação com a água.

Os parâmetros C e K do modelo de GAB estão relacionados com a energia de interação das moléculas adsorvidas na monocamada e nas multicamadas, respectivamente. Sendo que, valores mais altos de C indicam ligações mais fortes entre moléculas de água e sítios de ligação.

O parâmetro C apresentou valores significativamente altos na amostra Controle (P) com maltodextrina de DE 5, esse mesmo comportamento pode ser encontrado em outros trabalhos publicados como em filmes elaborados com carragena comercial ou híbridas (LAROTONDA et al., 2016), pós da microalga *Chlorella pyrenoidosa* (CHENG et al., 2023) e erva-mate (ČERVENKA; HLOUŠKOVÁ; ŽABČÍKOVÁ, 2015). Isso se deve principalmente devido as ramificações hidrofílicas da maltodextrina de maior DE que tendem a absorver mais água, já que as condições de secagem foram as mesmas, a energia de interação na monocamada foi maior.

Valores de K próximos a 1 indicam que a água na monocamada tende a se comportar como água líquida. Segundo Timmermann (2003) a constante K de GAB aumenta com a força de interação entre adsorvato e adsorvente. A amostra P com adição de maltodextrina foi encontrado o maior valor, com $K= 0,9054$.

Costa et al. (2003) ao estudarem as isotermas de adsorção de pós de beterraba, abóbora e cenoura, desidratados em secador do tipo em leito de jorro, encontram valores de K também menores que 1,0 e próximos aos encontrados no presente trabalho. Segundo Alexandre (2007), valores K menores que 1,0 são uma característica de produtos alimentícios, indicando que a isoterma tende a uma assíntota em atividade igual a 1,0.

6. CONCLUSÃO

Os resultados do presente trabalho demonstram que a formulação de pós da polpa de acerola foi possível com adição de diferentes *carriers* de secagem. A seguir, destacam-se os principais resultados deste estudo.

No contexto físico-químico, observou-se que as amostras T3 e T4, com adição de Promitor® e Nutriose®, apresentaram menor teor de umidade, respectivamente. Além disso, os valores de a_w ficaram abaixo de 0,35 e poucas variações, demonstrando a eficiência do processo de secagem. Os pós, que apresentaram maior uniformidade, em termos de distribuição do tamanho de partícula foram, T5 e T3, com Maltodextrina - DE 5 e Promitor®.

Em termos de solubilidade, os pós que apresentaram melhor reconstituição, foram as amostras T3 e T4, sendo mais facilmente solúvel em água, observa-se o mesmo comportamento para densidade aparente, ou seja, as amostras que apresentaram maior valor de densidade aparente foram T4, T1, T2 e T3 respectivamente. A propriedade de ângulo de repouso é associada a fluidez dos pós, os resultados encontrados no presente estudo, enquadram-nos como coesivos.

As características microscópicas revelam que a variação dos materiais de parede impactou na morfologia das partículas, sendo assim as amostras P, T5 e T1, com Maltodextrina-DE 5 e DE 2 e Goma arábica, respectivamente, foram as que se mostraram mais uniformes e sem grau de aglomeração, ou seja, são mais resistentes à compactação das partículas. A eficiência de encapsulação, demonstrou ser maior para a amostra T1 com goma arábica, onde apresentou maior teor de ácido ascórbico, seguido das Maltodextrinas.

Ao avaliar a temperatura de transição vítrea, de maneira geral, pode-se concluir que a amostra T1, apresentou o maior valor de T_g , ou seja, apresentou um aumento significativo com a adição da Goma Arábica. A análise da isoterma de sorção revelou que os pós de polpa de acerola manifestaram um comportamento do tipo III, onde revela curvas típicas de alimentos com alto conteúdo de sólidos solúveis.

Em síntese, as amostras apresentaram características promissoras, comprovando a diferença nos pós com a adição de diferentes agentes carreadores. Pode-se concluir que o uso de Goma Arábica influenciou no aumento da Transição vítrea dos pós, tendo um efeito positivo na secagem, seguido, principalmente de Maltodextrina e Promitor®, uma vez que apresentaram bons resultados para os parâmetros físico-químicos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, N. F. *et al.* **Caracterização da polpa de acerola atomizada utilizando diferentes agentes carreadores e de seus sucos reconstituídos.** *In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado - RS, (24 – 27 out. 2016).*
- ALEXANDRE, H. V.; Figueiredo, R. M. F. de; Queiroz, A. J. de M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, p.11-20, 2007.
- AL-HASHEMI, H. M. B., AL-AMOUDI, O. S.B. A review on the angle of repose of granular materials. **Powder Technology**, v. 330, p. 397-417, 2018.
- ANADHARAMAKRISHNAN, C.; ISHWARYA S., P. **Spray drying Techniques for Food Ingredients Encapsulation.** 1º Ed. Chichester, West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2015.
- ANSEL, H. C.; POPOVICH, N. G.; ALLEN Jr., L. V. **Formas Farmacêuticas e Sistemas de Liberação de Fármacos**, 8ª ed., Porto alegre: Ed. Artmed, 2007.
- ARAUJO, *et.al.* **Qualidade físico-química e química de frutos de clones de aceroleira recobertos com filme de PVC e conservados por refrigeração.** *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 30, núm. 4, 2009, pp. 867-880, Universidade Estadual de Londrina - Londrina
- AZEREDO, H.M.C.; BRITO, E.S.; BRUNO, L.M.; PINTO, G.A.S. Métodos de conservação de alimentos. AZEREDO, H.M.C. (Ed.). **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos.** Fortaleza: **Embrapa Agroindustrial Tropical**, p. 97-128, 2004.
- BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Dry. Technol.*, v. 15, p. 671-684, 1997.
- BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods, **Journal of food engineering**, v. 40, p. 71-79, 1999.
- BRAGA, V. **Produção de abacaxi com hortelã em pó por spray drying.** 2019. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2019.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (idr) de proteína, vitaminas e minerais. Resolução nº 269, de 22 de setembro de 2005c. Disponível em: [resolucao-rdc-no-269-de-22-de-setembro-de-2005.pdf](http://www.resolucao-rdc-no-269-de-22-de-setembro-de-2005.pdf) (www.gov.br). Acesso em: 20/03/2023.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E. On a theory of the van der Waals adsorption of gases, **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, p. 1723-1732, 1940.
- CAMPOS, E. V. R. *et al.* Use of botanical insecticides for sustainable agriculture: Future

perspectives. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 483-495, 2019

Cao XQ, Vassen R, Schwartz S, Jungen W, Tietz F, Stöever D 2000. Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating. **J Eur Ceram Soc**, p. 2433-2439, 2000.

CAVALCANTE, C. E. B. et al. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Braz. J. Food Technol.**, v. 20, e2016015, 2017.

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

ČERVENKA, L.; HLOUŠKOVÁ, L.; ŽABČÍKOVÁ, S. Moisture adsorption isotherms and thermodynamic properties of green and roasted Yerba mate (*Ilex paraguariensis*). **Food Bioscience**, v. 12, p. 122–127, 1 dez. 2015.

CHENG, X. et al. Water adsorption properties of microalgae powders: Thermodynamic analysis and structural characteristics. **Journal of Stored Products Research**, v. 101, p. 102093, 1 mar. 2023.

CHEUYGLINTASE, K. Spray drying of fruit juice with vegetable fibre as a carrier. University of Canterbury. **Chemical and Process Engineering**, New Zealand, 2009

CHIOU, D., & LANGRISH, T. A. G. (2007). Development and characterisation of novel nutraceuticals with spray drying technology. **Journal of Food Engineering**, 82(1), 84–91.

CONTRI, M. A. **Otimização do processo de microencapsulação de aroma natural de laranja por Spray drying**. Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2021. 148p.

COSTA, J.M.C.; MEDEIROS, M.F.D; MATA, A.L.M.L. 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. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

CUNHA, L. A. D. S. (2019). Desidratação de suco de acerola verde com encapsulantes por Spray dryer.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Experimental study and optimization of the agglomeration of acerola powder in a conical fluid bed. **Powder Technology**, v. 188, n.3, p.187- 194, 2009.

DACANAL, G. C.; MENEGALLI, F. C. Selection of operational parameters for the production of instant soy protein isolate by pulsed bed agglomeration. **Powder Technology**, v. 203, n. 3, p. 565-573, 2010.

DACANAL, G.C. **Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leito fluidizado** (2005). Campinas, 2005. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) –

Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P. **Amido como suporte na desidratação por atomização e em micro encapsulamento**. In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. (Cord). Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Sul Americanas. São Paulo: Fundação Cargill, v. 3, cap 168, p.449-473. 2003.

DALCIN, K. B et al. Vitamina C e seus derivados em produtos dermatológicos: aplicações e estabilidade. **Caderno de Farmácia**, v.19, n. 2, p.69-79, 2003.

DAVEY M. W., MONTAGU M. V., INZÉ D., SANMARTIN M., KANELIS A., SMIRNOFF N. Plant Lascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **J Sci Food Agric** 2000; 80:825-860

DURUBAL, P. M. et al. The effect of a temperature-dependent viscosity on cooling droplet-droplet collisions. **Chemical Engineering Science**, v. 282, 2023, 119277.

EITENMILLER R. R., YE, L., LANDEN, JR., W.O. Ascorbic acid: vitamin C. **Vitamin Analysis for the Health and Food Sciences**. 2 ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press 2008. p. 231-289.

Eliasson A-C. Starch: Physicochemical and functional aspects. **Carbohydrates in food**. 3rd ed., p. 479–577, 2017.

ENDO, E.; BORGES, S. V.; DAIUTO, E. R.; CEREDA, M. P.; AMORIM. E. Avaliação da vida de prateleira do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) desidratado. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, v.27, n. 2, p. 382-386, abr.-jun. 2007.

ERSUS, S.; YURDAGEL, U. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray dryer. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v. 80, n. 3, p. 805-812, 2007.

ESFAHANI, R. et al. Loading of fish oil into nanocarriers prepared through gelatin-gum Arabic complexation. **Food Hydrocolloids**, v. 90, p. 291–298, mai. 2019.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139-1147, 2011.

FARINHA, P. M. D. **Efeito da liofilização e da adição de goma arábica no potencial bioativo de extratos de morango e kiwi**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Inovação e Qualidade na Produção Alimentar, Instituto Politécnico de Castelo Branco Escola Superior Agrária, Castelo Branco, 2014.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A.K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, v. 9, p. 667-675, 2012.

FELIX, P. H. C. **Microencapsulação de óleo essencial de canela por atomização com emprego de diferentes materiais de parede**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Química) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

FELLOWS, P. J. **Food processing technology: Principles and practice**. 3^a ed., Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2009.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos – Princípios e práticas**. São Paulo, SP, Editora Artmed, 2006. 602p

FERNANDES AG, MAIA GA, SOUSA PH, COSTA JM, FIGUEIREDO RW, PRADO GM. Comparação dos teores em vitamina C, carotenóides totais, antocianinas totais e fenólicos totais do suco tropical de goiaba nas diferentes etapas de produção e influência da armazenagem. **Alim Nutr** 2007;18(4):431-8.

FERNANDES, R. V. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum Arabic /starch /maltodextrin /inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 101, p. 524-532, 2014

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Secagem por atomização de polpa de amorapreta usando maltodextrina como agente carreador. **Braz. J. Food Technol.**, v. 15, p. 157-165, 2012.

FERREIRA R.M.A.; AROUCHA E.M.M.; SOUZA P.A.; QUEIROZ R.F.; PONTES FILHO F.S.T. Ponto de Colheita da Acerola Visando à Produção Industrial de Polpa. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 2, p. 13-16, 2009.

FERREIRA, I. S. B. Análise do Sistema de Medição e de Fatores do Ângulo de Repouso em Fertilizantes. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Catalão, Goiás, 2019, p. 20.

FITZPATRICK, J. J. et al. Comparing the caking behaviours of skim milk powder, amorphous maltodextrin and crystalline common salt. **Powder Technology**, v. 204, n. 1, p. 131-137, 2010.

FOERST, P. et al. Role of glassy state on stabilities of freeze dried probiotics. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, 2011.

FREITAS, C.A.S.; MAIA, G A.; COSTA, J.M.C.; FIGUEIREDO, R.W.; SOUSA, P.H.M. Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas-RS, v. 12, n. 4, p. 395-400, 2006.

FRITZEN-FREIRE, C. B. et al. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 306–312, 2012.

GARCIA, V. A. S. et al. Vitamin C stability in acerola and camu-camu powder obtained by spray drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019237, 2020.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 342-351, 2010.

GOULA, ATHANASIA, M. Implications of Non-Equilibrium State Glass Transitions in Spray-Dried Sugar Rich Foods. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and

Nutrition, Pages 253-282, 2017.

GUÉRIN-DEREMAUX L. *et al.* Efeitos da suplementação de fibra alimentar NUTRIOSE® no peso corporal, composição corporal, ingestão energética e fome em homens com excesso de peso. **Revista Internacional de Ciência Alimentar e Nutrição**, 62 (2011), p. 628-635.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food research international**, 40(9), 1107-1121.

HIJO, A. A. C. T. et al. Physical and Thermal Properties of Oregano (*Origanum vulgare* L.) Essential Oil Microparticles. **Journal Food Process Engineering**, v. 38, n. 1, p. 1-10, 2014.

JANGAM, S.V.; LAW, C.L.; MUJUMDAR, A.S. **Drying of Foods**, Vegetables and Fruits, Vol. 1. 2010. 232 p.

JAYA, S.; DAS H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powders properties. **J. Food Eng.** v. 63, p.125–134, 2004.

JOHNSTON C. S., BOWLING, D.L. **Ascorbic acid**. In: Handbook of Vitamins. 4 ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2007. p. 489-520.

JULIANO, P. & BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food Powders Flowability Characterization: Theory, Methods, and Applications. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 211-239, 2010.

JUNIOR, J.M.L. **Obtenção de polpa de manga em pó pelo processo de spray dryer**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de ciência e tecnologia de alimentos - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

KARAM, M. C. et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v.188, p.32-49, 2016.

KAREL, M.; ROOS. Y. Amorphous carbohydrates and carbohydrate solutions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 56, p. 1676-1681, 1991.

KOU. B. et al. Granular material flow like complex fluids. **Nature**, v.551, p. 360-363, 2017.

KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 91, p. 287- 296, 2009.

LABUZA, T.; ALTUNAKAR, L. Water Activity Prediction and Moisture Sorption Isotherms. In: Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications. 2nd. ed. Chicago: John Wiley & Sons, Inc., 2020. p. 161–205.

LABUZA, T.; ROE, K.; PAYNE, C.; PANDA, F.; LABUZA, T. J.; LABUZA, P. S.; KRUSCH, L. **Storage stability of dry food systems: influence of state changes during drying and storage**. In: International Drying Symposium IDS'2004, 14th, 2004, São Paulo, Brazil.

Proceedings. São Paulo: Ourograf Gráfica e Editora, 2004. v. A, p. 48-68.

LAROTONDA, F. D. S.; TORRES, M. D.; GONÇALVES, M. P.; SERENO, A. M.; HILLIOU, L. Hybrid carrageenan-based formulations for edible film preparation: Benchmarking with kappa carrageenan. **Journal of Applied Polymer Science**, v.133, n. 2, 2016.

LAGO, C. C. (2010). Estudo do suco concentrado e da polpa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*).

LEE S. K., KADER A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biol Technol** 2000; 20:207-220.

LEE, H. S.; COATES, G. A. Vitamin C in frozen, fresh squeezed, unpasteurized, polyethylene-bottled, orange juice: a storage study. **Food Chem.**, v. 65, p. 165-168, 1999.

LEITE, *et al.* **Transições de fases em alimentos: Influência no processamento e na armazenagem.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.7, n.1, p.83-96, 2005

LISBOA, F. R. W. **Validação do método de determinação do teor de ácido ascórbico em baixas concentrações.** 2013. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Tecnologias Industriais Farmacêuticas) - Instituto de Tecnologia em Fármacos/Farmanguinhos, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2013.

MAGALHÃES, D.S.; RUFINI, J.C.M.; ALBURQUERQUE, A.S.; VIOL, R.E.; FAGUNDES, M.C.P.; MENEZES, T.P. Genetic diversity among accessions of acerola based on the quality of fruits. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 2, p. 133-141, 2018.

MANSO, M. C. et al. Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v. 36, p. 303-312, 2001.

MARIIA SOBULSKA & IRENEUSZ ZBICINSKI (2021) Advances in spray drying of sugar-rich products, **Drying Technology**, 39:12, 1774-1799.

MENDES, G. DA. S. **Estudo do efeito de dois métodos de secagem de folha de Graviola (*Annona muricata* L.) nas propriedades físico-químicas do pó.** 2024. 55 F. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2024.

MERCALI, G. D.; SARKIS, J.R.; JAESCHKE, D.P.; TESSARO, I.C.; MARCZAK, L.D.F. Physical properties of acerola and blueberry pulps. **Journal of Food Engineering**, v. 106, p. 283-289, 2011.

MORAES, J. O. **Produção e Caracterização de Filmes de Amido- Glicerol-Fibras de Celulose Elaborados por Tape-Casting.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina.

MORÁN, G. A. G. et al. Aspectos bioclínicos e patobiológicos da vitamina C na espécie humana. **Revista CES Medicina**, v.20, n.2, p.53-72, 2006.

MOREIRA, GERMANO ÉDER GADELHA; DE AZEREDO, HENRIETTE MONTEIRO CORDEIRO; DE MEDEIROS, MARIA DE FÁTIMA DANTAS; DE BRITO, Edy Sousa; DE SOUZA, ARTHUR CLÁUDIO RODRIGUES. 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.

MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. **Trans IChemE**, v. 80, p. 118-128, 2002.

MUZAFFAR K, et al., Stickiness Problem Associated with Spray Drying of Sugar and Acid Rich Foods: A Mini Review. **Journal OF Nutrition & Food Science**, 2015.

NASCIMENTO, A.B. **Aplicação de amido modificado e extrato de soja na microencapsulação de óleo de canola por coacervação complexa**. 2023. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023.

NAZZARO, F. et al. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current opinion in biotechnology**, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 182–6, 2012.

NOGUEIRA, G. F., MARTIN, L. G. P., FAKHOURI, F. M., & DE OLIVEIRA, R. A. (2018). Microencapsulation of blackberry pulp with arrowroot starch and gum arabic mixture by spray drying. **Journal of Microencapsulation**, 1–41.

NORKAEW, O. et al. Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules. **Food Chemistry**, v. 294, p. 493–502, out. 2019.

NUNES, G. L. et al. Microencapsulação de culturas probióticas: princípios do método de spray drying. **Ciência e Natura**, v.37, p. 132-141. 2015.

NUTRIOSE®: Um novo conceito em fibras solúveis. Revista Fi. Disponível em: <https://revista-fi.com/artigos/todos/nutriose-um-novo-conceito-em-fibras-soluveis>. Acesso em: 04 fev. 2024.

OLIVEIRA, W. P.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspensão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20 (4), p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, D. M.; Clemente, E.; Costa, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v.1, p.1-7, 2012.

OLIVEIRA, G. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A. Caracterização e comportamento higroscópico do pó da polpa de cajá liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1059-1064, 2014.

OLIVEIRA, M. I. S. et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Braz. J. Food Technol.**, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V., NOGUEIRA, R. I. CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA, W.P.; SOUZA, C.R.F.; KUROZAWA, L.E.; PARK, K.J. Spray drying of food and herbal products. In: M.W.Woo; A.S. Mujumdar; W.R.W. Daud. (Org.). *Spray drying Technology*. 1 ed. Singapura: **TPR Group**, 2010, v. 1, p. 113-156.

PAGANI, M.M. **Obtenção de suco de acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização**. 2010. 161f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PAI, D.A., VANGALA, V.R., NG J.W., NG, W.K., TAN, R.B.H., Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization, **Journal of Food Engineering** (2015).

PALZER, S. The effect of glass transition on the desired and undesired agglomeration of amorphous food powders. **Chemical Engineering Science**, v. 60, n. 14, p. 3959-3968, 2005.

PATEL, S.; GOYAL, A. Applications of Natural Polymer Gum Arabic: A Review. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 5, p. 986–998, 4 mai. 2015.

PAVAN, M. A.; SCHMIDT, S. J.; FENG, H. Water sorption behavior and thermal analysis of freeze-dried, Refractance Window-dried and hot-air dried açai (*Euterpe oleracea* Martius) juice. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 75–81, 2012.

PEDRO, M. A. M. **Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá em pó**. 2009. 204 f. Universidade estadual Paulista (UNESP) - São José do Rio Preto, 2009.

PEREIRA, S.V. **Sistemas microestruturados contendo extratos de *Chamomilla recutita* L. para aplicações dermocosméticas**. 2015. 148f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, p. 148, 2015.

PERRONE *et al.* Whey powder: glassy state and spray drying conditions. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, n. 2, p. 106-118, 2016.

PINEDO, R.A. **Estudo da estabilização da polpa de camu-camu (*Myciaria dubia* (N.B. K) Vc.Vaugh) congelada visando a manutenção de ácido ascórbico e antocianinas**. 2007. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Campinas - SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, p.180, 2007.

POLYDERA, A. C.; STOFOROS, N. G.; TAOUKIS, P. S. Quality degradation kinetics of pasteurized and high pressure processed fresh Navel orange juice: nutritional parameters and shelf life. **Innov. Food Sci. Em. Technol.**, v. 6, p. 1-9, 2005

POMBO, J. C.P. **Otimização do processo de secagem da polpa de cupuaçu em spray dryer**. 2017. 96 f. Universidade Federal do Pará. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de

Alimentos). Belém, p. 96, 2017.

PORCIUNCULA, B.D.A. **Controle da microestrutura e textura na desidratação de banana usando ciclos de aquecimento-pulso de vácuo**. Tese de doutorado em Engenharia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2014.

PRADO, P. J.; AGUDO, J. E.; SÁNCHEZ, H. A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino. **Sensors**, v. 14, p. 11943-11956, 2014.

QADRI, T. et al. Impact of spray drying conditions on the reconstitution, efficiency and flow properties of spray dried apple powder-optimization, sensorial and rheological assessment. **Heliyon**, v. 9, n. 8, e18527, 2023.

QUEEK, S. Y. *et al.* The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

QUEIROZ, C. E.; MENEZES, H. C. Suco de laranja. In: VENTURINI FILHO, W. G. Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. p. 221-254.

QUEK, S.Y., CHOK, N.K., SWEDLUND, P., 2007. The physicochemical properties of spray dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing** v. 46 (5), 386– 392.

RAHMAN, M. S.; LABUZA, T. P. Water Activity and Food Preservation. Em: Handbook of Food Preservation. 2° ed. Boca Raton: Crc Press, 2007. p. 447–476.

REKHA, C. Ascorbic Acid, Total Phenol Content and Antioxidant Activity of Fresh Juices of Four Ripe and Unripe Citrus Fruits. **Chemical Science Transaction**, v. 1, n. 2, p. 303–310, 2012.

REZENDE, Y. R. R. S., NOGUEIRA, J. P., & NARAIN, N. (2018). 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, 281-291.

RIBEIRO, C. M. C. M., MAGLIANO, L. C. D. S. A., COSTA, M. M. A. D., BEZERRA, T. K. A., SILVA, F. L. H. D., & MACIEL, M. I. S. (2019). Optimization of the spray drying process conditions for acerola and seriguela juice mix. **Food Science and Technology**, v. 39, 48-55.

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

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269-274, 2016.

RIBEIRO, L.C., COSTA, J.M.C., AFONSO, M.R.A. Hygroscopic behavior of acerola powder obtained by spray-drying. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 41, 2019.

RIGUETTO, A.M. Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização. Campinas. 2004. 178 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 2004.

RITZINGER, Rogério e RITZINGER, Cecília Helena Silvino Prata. **Acerola.Cultivo tropical de fruteiras**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.32, n.264, p.17-25, set./oul. 2011.

ROOS, Y. H. **Glass transition temperature and its relevance in food processing**. Annual Review of Food Science and Technology, v. 1, p. 469-496, 2010.

SANTOS et.al., (2014). **Microencapsulação de ácido ascórbico em pó de acerola verde obtido por spray drying**, vol.1. Disponível em: Doi: 10.5151/chemeng-cobeq2014-0559-24953-182519. Acesso em: 04 fev. 2024.

SANTOS, L. M. L. **Produção de pó de acerola verde via atomização spray drying para elaboração de sorvete enriquecido com vitamina C**. Limoeiro do Norte: IFCE, 2014. 86f. Dissertação (Tecnologia de Alimentos).

SANTOS, R. O. **Avaliação físico-química de acerola cv. Junko cultivada em Petrolina - PE**. TCC (Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, Petrolina - PE, 42f., 2016

SCHUCK, P.; DOLIVET, A.; JEANTET, R. Analytical methods for food and dairy powders. Chichester: **Wiley-Blackwell**, 2012, p. 1-41.

SHRESTHA, A. K. et al. Glass transition behavior of spraydried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). **International Journal of Food Properties**, v. 10, p. 661-673, 2007.

SILALAI, N.; ROOS, Y. H. Mechanical α -relaxations and stickiness of milk solids/maltodextrin systems around glass transition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. online, p. 1-8, 2011

SILVA, J. **Produção e caracterização de milho verde em pó por Cast-Tape drying**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis, 2021.

SILVA, M. V.; DEMCZUK J. B.; VISENTAINER, J. V. Production and Characterization of Maltodextrins and its Application in Microencapsulation of Food Compounds by Spray Drying. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 111-126, 2014.

SILVA, N. L., CRISPIM, J. M., & VIEIRA, R. P. (2017). Kinetic and thermodynamic analysis of anthocyanin thermal degradation in acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, 41(4), e13053.

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.

SILVEIRA, A. C. P. et al. Secagem por Spray drying: uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 68, n. 391, p. 51–58, 2013.

SOLOMON, O.; SVANBERG, U.; SAHLSTRÖM, A. Effect of oxygen and fluorescent light on the quality of orange juice during storage at 8°C. **Food Chem.**, v. 53, n. 4, p. 363-368, 1995.

SOUZA *et.al.* Encapsulação do ácido L ascórbico no biopolímero natural galactomanana por spray drying: Preparação, caracterização e atividade antioxidante. **Química nova**, v.38, n.7,

SOUZA, F.F.; DEON, M.D.; CASTRO, J.M.C; CALGARO, M. **Contribuições das pesquisas realizadas na Embrapa Semiárido para a cultura da aceroleira**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.

SUCUPIRA, N. R.; XEREZ, A. C P. SOUSA, P. H. M. Perdas vitamínicas durante o tratamento térmico de alimentos. **Unopar científica. Ciências Biológicas e da Saúde**, V.14, n.2, 2012.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por spray dryng sobre o teor ácido ascórbico no suco de acerola (Malpighia spp)**. 2007. 56 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2007.

TELIS, V. R. N., & TONON, R. V. (2017). **The effects of non-equilibrium states and storage conditions on glass transitions in food**. In B. Bhandari & Y. H. Roos (Eds.), *Non-equilibrium states and glass transitions in foods* (pp. 379-403). Cambridge: Woodhead Publishing.

TIMMERMANN, E. O. Multilayer sorption parameters: BET or GAB values? *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.220, p.235-260, 2003.

TONON, R. V. et al. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

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 açai em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 444-450, 2009

TONON, R.V. **Secagem por atomização de suco de açai: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. Tese (doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

TRUONG, V. Glass Transition Temperature and Spray Drying of Sugar-Rich Foods. Modelling and Stickiness. **Lap Lambert Academic Publishing**, 2014, Germany.

TUNGLAND BC, Mayer D. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. **Comp Rev Food Sci Food Saf**. 2002;1:73-92.

VALENZUELA, C.; AGUILERA, J. M. Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 1-9, 2015b

VANNUCCHI, H.; ROCHA M.M. Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: ácido ascórbico (vitaminaC). **ILSI Brasil International Life Sciences Institute do Brasil**, v 21, p 3-

11, 2012.

VENDRAMINI, A. L.; TRUGO, L. C. Chemical composition of acerola fruit (*Malpighia glabra* L.) at three stages of maturity. **Food Chemistry**, v. 71, p. 195-198, 2000.

VIEIRA, A.C.R. **Atividade antioxidante da vitamina C: Aplicações na Indústria farmacêutica e de alimentos e formas de evitar a oxidação mantendo sua estabilidade.** Graduação em Farmácia. Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás – UFGO, p.51, 2020

WANG, X.; LI, X.; CHEN L.; XIE, F.; YU, L.; LI, B. Preparation and characterization of octenyl Succinate Starch as a Delivery Carrier of Bioactive Food Components. **Food Chemistry**, 2010.

YOUSEFI, S., EMAM-DJOMEH, Z., MOUSAVI, M., KOBARFARD, F., & ZBICINSKI, I. (2015). Developing spray-dried powders containing anthocyanins of black raspberry juice encapsulated based on fenugreek gum. **Advanced Powder Technology**, 26(2), 462–469.

ZANOELO, M. **ENCAPSULAMENTO DO EXTRATO DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis*) TOSTADA POR SPRAY DRYING UTILIZANDO MALTODEXTRINA E β -GLUCANA COMO MATERIAL DE PAREDE.** 2022. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

ZOTARELLI, M. F. **Produção e Caracterização de Manga Desidratada em Pó por Diferentes Processos de Secagem.** 2012. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

ZOTARELLI, M. F.; SILVA, V. M.; DURIGON, A.; HUBINGER, M. D.; LAURINDO, J. B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v. 305, p. 447-454, 2017.

ZUIDAN, N.J. NEDOVIC, V. (2010) Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing. **Springer**, New York.