



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

THALLYNE DE BRITO ALVES

INFLUÊNCIA DA MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E DEXTRINA SOBRE O
PÓ DA POLPA DE PITAIA VERMELHA *Hylocereus polyrhizus* LIOFILIZADA

FORTALEZA

2021

THALLYNE DE BRITO ALVES

INFLUÊNCIA DE MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E DEXTRINA SOBRE O PÓ
DA POLPA DE PITAIA VERMELHA *Hylocereus polyrhizus* LIOFILIZADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Processamento de Alimentos de Origem Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Coorientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A482i Alves, Thallyne de Brito.

Influência da maltodextrina, goma arábica e dextrina sobre o pó da polpa de pitaiá vermelha
Hylocereus polyrhizus liofilizada / Thallyne de Brito Alves. – 2021.
106 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Coorientação: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa.

1. Fruta em pó. 2. Agentes carreadores. 3. Índice de Carr. I. Título.

CDD 664

THALLYNE DE BRITO ALVES

INFLUÊNCIA DE MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E DEXTRINA SOBRE O PÓ
DA POLPA DE PITAIA VERMELHA *Hylocereus polyrhizus* LIOFILIZADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Processamento de Alimentos de Origem Vegetal.

Aprovado em: 24/02/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador).
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa (Co-orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Kaliana Sitonio Eça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Andrea Cardoso de Aquino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Pesquisadora Dra. Ana Cecília Poloni Rybka
Embrapa Semiárido (Embrapa)

A Deus,
A minha família, e
A minha força de vontade.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Departamento de Engenharia de Alimentos pela oportunidade de participar do programa de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. A coordenação e secretaria do curso pelo auxílio e informações prestadas.

Ao Prof. Marcos Rodrigues Amorim Afonso pela orientação prestada, pela paciência, conselhos e competência, dando sempre um rumo e soluções aos problemas encontrados durante a trajetória do mestrado.

Ao Prof. José Maria Correia Costa por me confiar o laboratório para realização das análises, também pelos conselhos e orientações.

Aos participantes da minha banca pela atenção, conselhos, correções e colaboração dada para a versão deste trabalho.

Aos demais professores do curso pelos conhecimentos repassados.

Aos amigos de laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem e do laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará pelos conhecimentos trocados, pela colaboração, pelos momentos vividos. Em especial a Luciana, que tanto me ajudou na realização das análises, pelo companheirismo, pela ajuda que me fez caminhar na longa estrada desse mestrado.

As amigas de apartamento e da vida Carlota, Ana Caroline, Tayla, Júlia e Kamila que tornaram-se amigas de toda uma vida, pelos conhecimentos partilhados, pela ajuda em todos os momentos necessários, pelas alegrias vividas e tantas risadas.

Aos meus pais, Antonia Celma de Brito e Francisco Roberto de Carvalho Alves, que tanto me incentivaram para que eu pudesse chegar até este momento e que me dão forças para prosseguir com meus projetos.

A minha irmã, Thamylles Alves, pela amizade, força e companheirismo e por ser minha irmã.

Ao meu companheiro e amigo, João Ernandes, por estar junto, me apoiando quando preciso e abdicando do nosso tempo juntos em prol dos meus objetivos.

A todos que fazem parte da minha vida e jornada, gratidão.

“Assim como a água reflete o rosto, o coração
reflete quem somos nós.”

(Provérbios 27:19)

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência da maltodextrina, goma arábica e dextrina sobre as características físicas e físico-químicas do pó da polpa de pitáia vermelha obtido por liofilização. Foram determinadas as características físico-químicas da polpa. As melhores características do pó foram escolhidas por meio do delineamento de misturas simplex centróide. As variáveis respostas foram a higroscopicidade, solubilidade, umidade, índice de fluxo, índice de Carr e a relação de Hausner. A influência dos três adjuvantes também foi avaliada através de análise morfológica e das isotermas de sorção. O pó na melhor condição foi caracterizado físico-quimicamente e sua estabilidade foi analisada por 60 dias. A polpa de pitáia mostrou grande teor de umidade, 107,02 mg/100g de ácido ascórbico, 111,17 mg EAG/100g compostos fenólicos totais e 11,43 mg/100g de betalaínas, baixos teores de acidez e sólidos solúveis. Os pós apresentaram higroscopicidade entre 6,55 e 10,37%, umidade entre 3,17 e 4,78% e solubilidade entre 91,74 e 96,69%, índice de fluxo entre 3,44 a 4,43, índice de Carr entre 22,61 a 43,00% e a relação de Hausner entre 1,29 a 1,75. A redução dos parâmetros de índice de Carr e relação de Hausner das amostras foi observada com o aumento da concentração de maltodextrina e diminuição da dextrina e goma arábica na mistura. O aumento da dextrina na mistura contribuiu para redução da umidade dos pós, enquanto que o aumento da goma arábica resultou em pós com maior higroscopicidade. Os índices de fluxo indicaram que o pó contendo somente maltodextrina é classificado como de fluxo fácil (4,11) e aqueles contendo apenas goma arábica ou dextrina são coesos (3,44 e 3,54). O pó com maltodextrina obteve maiores densidades aparentes (469,6 a 595,1 kg/m³) e o pó com goma arábica obteve menores ângulos de atrito com a parede (10,5 a 10,7°). Na avaliação morfológica (MEV) verificou-se que os pós tinham formatos irregulares e os adjuvantes apresentaram comportamentos diferentes, com as superfícies mais arredondadas e mais aglomeradas com a maltodextrina. Para as isotermas de adsorção dos pós, o modelo de melhor ajuste foi o de BET com erros médios estimados de 2,78%, sendo a dextrina mais estável nas temperaturas de 25 e 40 °C devido sua menor umidade de equilíbrio. Dentre os adjuvantes utilizados, a maltodextrina foi a que mais contribuiu para a melhor fluidez e escoabilidade do pó da polpa de pitáia. O processo de liofilização acarretou em variações nos resultados físico-químicos dos pós. O estudo da estabilidade do pó da polpa de pitáia permitiu observar a diminuição dos compostos fenólicos, betalaínas e pH a partir do 15° dia de armazenamento e manteve a umidade, higroscopicidade e acidez.

Palavras-chave: Fruta em pó. Agentes carreadores. Índice de Carr.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence of maltodextrin, gum arabic and dextrin on the physical and physicochemical characteristics of the red pitaya pulp powder obtained by the freeze-drying process. They were determined as physicochemical characteristics of the pulp. The best powder characteristics were chosen from the experimental design of simplex-centroid-mixtures. The response variables were hygroscopicity, solubility, moisture content, flow index, Carr index and the Hausner ratio. The influence of the three adjuvants was also evaluated through morphological analysis and sorption isotherms. The powder in the best condition was chosen physically and chemically and its stability was analyzed for 60 days. The pulp of pitaya showed a high moisture content, 107.02 mg/100g of ascorbic acid, 111.17 mg EAG/100g of total phenolic compounds and 11.43 mg/100g of betalains, low levels of acidity and soluble solids. The powders showed hygroscopicity between 6.55 and 10.37%, moisture between 3.17 and 4.78% and solubility between 91.74 and 96.69%, flow index between 3.44 to 4.43, Carr index between 22.61 to 43.00% and the Hausner ratio between 1.29 to 1.75. The reduction of Carr index parameters and the Hausner ratio of the samples was observed with the increase in the concentration of maltodextrin and decrease in the dextrin and gum arabic in the mixture. The increase in dextrin in the mixture contributed to the reduction of moisture in powders, while the increase in gum arabic resulted in powders with greater hygroscopicity. The flow indexes showed that the powder containing only maltodextrin is classified as easy to flow (4.11) and those containing only gum arabic or dextrin as cohesive (3.44 and 3.54). The powder with maltodextrin had a higher densities (469,6 a 595,1 kg/m³) and the powder with gum arabic has lower wall friction angles (10,5 a 10,7°). In the morphological evaluation was observed irregularly shaped powders and different behaviors in according to the adjuvantes, surfaces more rounded and more agglomerated with maltodextrin. For the adsorption isotherms of powders, the best fit model was the BET model with estimated average errors of 2.78%, with the dextrin being more stable at temperatures of 25 and 40 °C due to its lower equilibrium moisture. Among the adjuvants used, a maltodextrin was the one that most contributed to the better fluidity and flowability of the pitaya pulp powder. The lyophilization process resulted in variations in the physicochemical results of the powders. The study of the stability of the pitaya pulp powder allowed to observe the decrease of the phenolic compounds, betalains and pH from the 15th day of storage and maintained a moisture, hygroscopicity and acidity.

Keywords: Fruit powder. Carrier agents. Carr index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frutos de pitaia do México	20
Figura 2 – Frutos de <i>H. undatus</i> com diferentes polpas coloridas	20
Figura 3 – Diagrama de fases	25
Figura 4 – Esquema de um liofilizador de bancada	26
Figura 5 – Diagrama gerado pelo delineamento experimental simplex centroide para os adjuvantes de secagem	39
Figura 6 – Células de solução salina das isotermas de adsorção contendo amostras de pós de pitaia vermelha, colocadas em B.O.D.	43
Figura 7 – Diagrama ternário da mistura entre polpa de pitaia, maltodextrina, goma arábica e dextrina, obtida pela equação 15 para higroscopicidade das misturas	53
Figura 8 – Micrografias (2000x, 1000x e 500x) dos pós da polpa de pitaia vermelha liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina (A), goma arábica (B), dextrina (C) e da polpa de pitaia vermelha integral em pó (D)	60
Figura 9 – Tensão principal de consolidação e tensão não confinada de deslizamento para os pós de polpa de pitaia vermelha adicionados de 20% (m/m) dos adjuvantes maltodextrina, goma arábica e dextrina	65
Figura 10 – Isotermas de sorção a 25°C do pó da polpa de pitaia liofilizada contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina	69
Figura 11 – Isotermas de sorção a 40°C do pó da polpa de pitaia liofilizada contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina	70
Figura 12 – Comportamento do teor de higroscopicidade do pó de pitaia liofilizado durante o armazenamento	78
Figura 13 – Comportamento do teor de umidade do pó de pitaia liofilizado durante o armazenamento	79
Figura 14 – Comportamento do teor de solubilidade do pó de pitaia liofilizado durante o armazenamento	80

Figura 15 – Comportamento do teor do grau de Caking do pó de pitaia liofilizado durante o armazenamento	81
Figura 16 – Comportamento do teor de acidez total titulável dos pós de pitaia liofilizado durante o armazenamento	82
Figura 17 – Comportamento do pH dos pós de pitaia liofilizado durante o armazenamento	83
Figura 18 – Comportamento do teor de betalaína dos pós de pitaia liofilizado durante o armazenamento	84
Figura 19 – Comportamento dos parâmetros de compostos fenólicos totais dos pós de pitaia liofilizado durante o armazenamento	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Delineamento de misturas para maltodextrina, goma arábica e dextrina	38
Tabela 2 – Classificação de fluidez de pós (Aziz et al., 2018)	40
Tabela 3 – Classificação do tipo de escoamento de produtos sólidos armazenáveis	41
Tabela 4 – Atividade de água para soluções salinas saturadas a $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	41
Tabela 5 – Classificação dos pós de acordo com sua higroscopicidade	45
Tabela 6 – Caracterização físico-química da polpa integral de pitaia vermelha	46
Tabela 7 – Resultados do delineamento de mistura dos pós da polpa de pitaia para as variáveis higroscopicidade, solubilidade, umidade, índice de fluxo, índice de Carr e relação de Hausner	50
Tabela 8 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente higroscopicidade	51
Tabela 9 – Análise de variância para higroscopicidade (%) para a mistura ternária entre polpa de pitaia, maltodextrina, goma arábica e dextrina	52
Tabela 10 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente solubilidade	54
Tabela 11 – Análise de variância para solubilidade (%) para a mistura ternária entre polpa de pitaia, maltodextrina, goma arábica e dextrina	55
Tabela 12 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente umidade	56
Tabela 13 – Análise de variância para umidade (%) para a mistura ternária entre polpa de pitaia, maltodextrina, goma arábica e dextrina	56
Tabela 14 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente índice de fluxo	57
Tabela 15 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente índice de Carr	58

Tabela 16 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente relação de Hausner	59
Tabela 17 – Densidade, ângulo de atrito com a parede e índice de fluxo dos pós da polpa de pitaiá liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma arábica e dextrina	64
Tabela 18 – Parâmetros de ajuste das isotermas de adsorção dos pós da polpa de pitaiá contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma arábica e dextrina	67
Tabela 19 – Caracterização físico-química da polpa de pitaiá liofilizado contendo 20% (m/m) de maltodextrina	71
Tabela 20 – Caracterização do pó da polpa de pitaiá vermelha obtido por liofilização durante 60 dias de armazenamento	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivos Gerais	18
2.2	Objetivos Específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	Pitaia	19
3.2	Secagem de alimentos	22
3.2.1	<i>Liofilização</i>	24
3.2.2	<i>Agentes adjuvantes de secagem</i>	26
3.2.3	<i>Características físicas dos pós (escoamento, higroscopicidade), MEV</i>	29
3.3	Isotermas de sorção	30
3.3.1	<i>Modelo de BET</i>	32
3.3.2	<i>Modelo de GAB</i>	32
3.3.3	<i>Modelo de HENDERSON</i>	33
3.3.4	<i>Modelo de OSWIN</i>	34
4	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1	Obtenção da Matéria Prima	35
4.2	Análises físico-químicas de polpa de pitaia	35
4.2.1	<i>Umidade</i>	35
4.2.2	<i>Atividade de Água</i>	35
4.2.3	<i>pH</i>	36
4.2.4	<i>Acidez Total Titulável</i>	36
4.2.5	<i>Açúcares redutores e totais</i>	36
4.2.6	<i>Sólidos solúveis</i>	36
4.2.7	<i>Ácido ascórbico</i>	36
4.2.8	<i>Cor</i>	37
4.2.9	<i>Betalainas</i>	37
4.2.10	<i>Compostos fenólicos</i>	37
4.3	Secagem e Planejamento Experimental	38
4.4	Análises físicas dos pós da polpa de pitaia	39
4.4.1	<i>Avaliação do escoamento do pó da polpa de pitaia</i>	39

4.4.2	<i>Avaliação morfológica por MEV</i>	41
4.4.3	<i>Isotermas de sorção dos pós</i>	41
4.5	Análises físico-químicas dos pós da polpa de pitaiá	43
4.5.1	<i>pH</i>	43
4.5.2	<i>Sólidos Solúveis Totais</i>	44
4.6	Avaliação da estabilidade dos pós da polpa de pitaiá liofilizada	44
4.6.1	<i>Higroscopicidade</i>	44
4.6.2	<i>Grau de caking</i>	45
4.6.3	<i>Solubilidade</i>	45
4.7	Estatística	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Caracterização físico-química da polpa <i>in natura</i>	46
5.2	Resultados do planejamento experimental	49
5.2.1	<i>Avaliação da higroscopicidade</i>	52
5.2.2	<i>Avaliação da solubilidade</i>	54
5.2.3	<i>Avaliação da umidade</i>	56
5.2.4	<i>Avaliação do índice de fluxo</i>	57
5.2.5	<i>Avaliação do índice de Carr</i>	58
5.2.6	<i>Avaliação da relação de Hausner</i>	59
5.3	Análises físicas dos pós da polpa de pitaiá vermelha	60
5.3.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	60
5.3.2	<i>Propriedades de escoamento do pó da polpa de pitaiá</i>	64
5.3.3	<i>Isotermas de adsorção</i>	67
5.4	Discussão sobre a melhor formulação para a secagem	71
5.5	Caracterização físico-química do pó da polpa de pitaiá vermelha	72
5.6	Estudo da estabilidade do pó	76
5.6.1	<i>Higroscopicidade</i>	78
5.6.2	<i>Umidade</i>	79
5.6.3	<i>Solubilidade</i>	80
5.6.4	<i>Grau de Caking</i>	81
5.6.5	<i>Acidez total titulável</i>	82
5.6.6	<i>pH</i>	83
5.6.7	<i>Betalainas</i>	84

5.6.8	<i>Fenólicos</i>	84
6	CONCLUSÃO	86
	REFERÊNCIAS	87
	ANEXO A – ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE PITAIA VERMELHA LIOFILIZADO ADICIONADO DE MALTODEXTRINA ...	104
	ANEXO B – ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE PITAIA VERMELHA LIOFILIZADO ADICIONADO DE GOMA ARÁBICA	105
	ANEXO C – ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE PITAIA VERMELHA LIOFILIZADO ADICIONADO DE DEXTRINA	106

1. INTRODUÇÃO

A conscientização da população em relação à importância de uma alimentação saudável e equilibrada tem favorecido o aumento do consumo de alimentos mais saudáveis, exercendo pressão a oferta principalmente de frutas no mercado. Com isso, novas possibilidades estão surgindo aos produtores e novas espécies, variedades e cultivares estão sendo exploradas comercialmente. Dentre essas, algumas pouco conhecidas, como a pitaita, cactácea frutífera que tem demonstrado grande potencial nos mercados interno e externo (ANDRADE; MARTINS; SILVA, 2008).

Dezenas de polos regionais auxiliam no desenvolvimento com a receita gerada pelo comércio de frutas. Assim, do clima temperado nos estados do Sul ao ambiente tropical nas extensões do Sudeste, do Norte e do Nordeste, a cada ano cerca de 44 milhões de toneladas de frutas são colhidas e encaminhadas para o consumo: boa parte, chega à mesa da população sob a forma in natura, mas cada vez mais a industrialização ganha espaço, com sucos, polpas, doces e uma série de outros aproveitamentos e elaborações. Dessa forma, as frutas dão cor, sabor e componentes nutritivos para pessoas de todas as idades e movimentam a economia (ANUÁRIO, 2018).

A aparência pouco comum e as cores vibrantes dos frutos de pitaita atraem quem os veem (NERD et al., 1999). Além disso, o sabor doce e agradável de sua polpa contribuiu para aumentar a demanda, e os preços pagos têm despertado o interesse de fruticultores (MARQUES et al., 2012). Porém, como forma de aumentar seu período de comercialização, uma vez que a pitaita tem vida útil de prateleira por 10 dias em condições ambiente (HOA et al., 2006; CORDEIRO et al., 2015), o processo de secagem é uma boa alternativa. A desidratação agrega valor ao produto no mercado, reduz o transporte e ainda aumenta o leque de opções de uso na indústria e ao consumidor, garantindo a manutenção das propriedades nutracêuticas, sensoriais e físico-químicas.

O visual exótico, escamoso e a cor são os fatores que chamam mais atenção e despertam o interesse dos consumidores nos frutos da pitaita, seguido do apelo nutricional, pois é rico em vitaminas, minerais, compostos bioativos e antioxidantes. Entretanto, para manter seus componentes nutricionais e sensoriais, devem ser desidratadas por processos que acarretem menos perdas.

A liofilização é uma técnica adequada para alimentos muito termossensíveis, já que minimiza as alterações de qualidade associadas a altas temperaturas. Graças à ausência de água

líquida e às baixas temperaturas utilizadas no processo, a maioria das alterações inerentes à secagem por ar aquecido são minimizadas. Além disso, as alterações de odor, sabor e cor são mínimas, assim como as alterações nutricionais (RATTI, 2001).

Quando o alimento é desidratado, o pó apresenta características como pegajosidade, devido a sua higroscopicidade, fazendo-se necessário a utilização de agentes carreadores, como a maltodextrina, que pode promover um melhor manuseio do produto final obtido, conferindo-lhe maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente e tornando-o menos higroscópico (TONON et al., 2009). Outros dois agentes carreadores usados são a dextrina e a goma arábica.

Diferentes agentes carreadores fornecem pós com propriedades diferentes, dependendo da estrutura e das características de cada agente carreador (NAYAK E RASTOGI, 2010). A adição de agentes carreadores na solução de alimentação influencia as propriedades e estabilidade do pó (YOUSEFI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2011).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a obtenção de polpa de pitáia vermelha em pó pelo processo de liofilização e a avaliação da influência dos adjuvantes de secagem sobre as características do pó, realizar sua caracterização física, físico-química, morfológica, determinar as propriedades de escoamento e isothermas, além do estudo de sua estabilidade (60 dias).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Obtenção de polpa de pitáia em pó pelo processo de liofilização e avaliação da influência dos adjuvantes de secagem sobre as características do pó.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar através de análises físico-químicas a polpa de pitáia vermelha;
- Obter o pó da polpa de pitáia vermelha pelo processo de liofilização;
- Avaliar a influência dos adjuvantes de secagem sobre as características de escoamento dos pós de pitáia através de um delineamento de misturas do tipo Simples Centróide;
- Avaliar a influência dos adjuvantes de secagem sobre a morfologia dos pós de pitáia através da microscopia eletrônica por varredura (MEV);
- Avaliar a influência dos adjuvantes de secagem sobre o comportamento higroscópico dos pós de pitáia através das isotermas de sorção e seus ajustes matemáticos aos modelos de BET, GAB, Oswin e Henderson;
- Caracterizar através de análises físico-químicas o pó da polpa de pitáia vermelha contendo o adjuvante escolhido;
- Avaliar a estabilidade dos pós do pó da polpa de pitáia contendo o adjuvante escolhido através do acompanhamento de suas propriedades físicas, físico-químicas e higroscópicas;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pitaia

A pitaia é originária da Mesoamérica e pode ser encontrada em paisagens variadas que vão desde alguns metros até 1.840 m de altitude, com chuvas a partir de 350 até 2.000 mm e temperaturas variando entre 11 °C e 40 °C (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012). Conhecida por ter sido usada por milhares de anos pelos povos indígenas das Américas, porém, hoje em dia, é cultivada e comercializada em mais de 20 países como uma nova frutífera (MIZRAHI, 2014). Atualmente, encontra-se distribuída nos países da Costa Rica, Venezuela, Panamá, Uruguai, Brasil, Colômbia e México, sendo os dois últimos os principais produtores a nível mundial (ALVES; GODOY; CORRÊA, 2011).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas e o 23º maior exportador (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018). Em ordem de volume de comercialização por estado, estão São Paulo, Minas Gerais, Ceará, Paraná e Goiás. Em 2013, o estado de São Paulo produziu mais de 92% do montante de Pitaia vermelha comercializada nas CEASAS (mais de 270 toneladas). Em segundo lugar está Minas Gerais, com pouco mais de 5,62% (16.380 kg), seguido pelo Ceará (1,16% do total comercializado, equivalente a 3.399 kg).

No estado do Ceará, a implantação do cultivo é recente e possui poucas informações referentes ao manejo agrônomo e à rentabilidade da exploração comercial. As plantas estão adaptando-se bem a região, produzem frutos durante todo o ano, com decréscimo nos meses mais chuvosos (janeiro a abril). A safra é comercializada a preços elevados nas principais redes de supermercados de Fortaleza (CE) e/ou exportada para países europeus (NUNES et al., 2014).

A planta é perene e comumente cresce sobre árvores ou pedras; têm raízes fibrosas, abundantes e desenvolve numerosas raízes adventícias que ajudam na fixação e na obtenção de nutrientes; os cladódios são triangulares, suculentos, com espinhos de 2 a 4 mm de largura. A flor é hermafrodita, de coloração branca, grande (mede cerca de 20 a 30 cm de diâmetro) e abre-se durante a noite. O fruto é globoso ou subgloboso, mede de 10 a 20 cm de diâmetro, podendo ser de coloração externa amarela ou vermelha, coberto com brácteas (escamas/espinhos modificados) (SILVA; MARTINS; CAVALLARI, 2011). Devido à sua rusticidade, a pitaia é uma alternativa com potencial agrônomo, econômico e nutricional em terrenos rasos, arenosos e pedregosos (SANTOS et al., 2010).

A aparência externa e interna dos frutos (figuras 1 e 2), principalmente quanto à coloração, é o que diferencia os tipos de pitaias. Quatro espécies são de importância comercial

no país, *Hylocereus undatus*, *H. polyrhizus*, *H. setaceus* (Sin.: *Selenicereus setaceus*) e *H. megalanthus* (Sin.: *S. megalanthus*) (SILVA et al., 2017).

Figura 1 – Frutos de pitiaia do México.



Fonte: Ortiz-Hernández e Carrillo-Salazar (2012).

Figura 2 – Frutos de *H. undatus* com diferentes polpas coloridas.



Fonte: Ortiz-Hernández e Carrillo-Salazar (2012).

O fruto tem sabor suave e refrescante, de acordo com a espécie o fruto apresenta polpa de cor branca ou vermelha e pode ser consumido in natura ou na forma de sorvetes, saladas, sucos, geleias, etc. O consumo excessivo pode ser laxante. Possui uma substância chamada Captina em seu cladódio que auxilia o coração aumentando a vitalidade dos tecidos (POT FULL, 2012).

Frutos de *Hylocereus* podem ser processados por congelamento, concentração, desidratação, fermentação, processamento térmico e conservação química. Da polpa e da casca podem ser extraídos corantes e pectina naturais usando tecnologias domésticas, artesanais ou industriais (ESQUIVEL; STINTZING; CARLE, 2007). Pigmentos de pitiaia vermelha ou roxa

(*H. monacanthus* e *H. costaricensis*) são potenciais fontes de corantes para a indústria de alimentos (WYBRANIEC & MIZRAHI, 2002; ESQUIVEL & AYARA, 2012), sendo uma alternativa ao uso de corantes artificiais nos alimentos, uma vez que apresentam estabilidade em pH de 3 a 7 (ESQUIVEL & AYARA, 2012), são muito estáveis durante o processamento e armazenamento (HERBACK et al., 2006, HERBACK et al., 2007). O nome betalainas descreve dois grupos principais, as betacianinas ($\lambda = 540$ nm) e as betaxantinas ($\lambda = 480$ nm) (HUANG & VON ELBE, 1987; ALTAMIRANO; DRDÁK & SIMON, 1993). Teor de betacianina, na polpa e casca de frutos de *Hylocereus*, são 10,3 a 13,8 mg 100 g⁻¹ (WU et al., 2006) e foram identificados usando várias técnicas (WYBRANIEC et al., 2007). Várias betacianinas foram separadas de *H. monacanthus*, como betanina, isobetanina, filocactina, isofilocactina, betanidina, isobetanidina, bougainvillein-R-I, hylocerenin e isoilocerenina (WYBRANIEC & MIZRAHI, 2002; WU et al., 2006; STINTZING & CARLE, 2007).

A casca de pitaia pode ser potencialmente usada como agente espessante e corante natural (HARIVAINDARAM; REBECCA; CHANDRAN, 2008), em cosméticos e cremes hidratantes (STINTZING; SCHIEBER; CARLE, 2002) ou em ingrediente de bebidas dietéticas. A mucilagem extraída da casca de fruta é altamente perecível e requer conservantes ou desidratação (TZE et al., 2012), mas devido às suas qualidades reológicas, seu uso como agente encapsulante para princípios ativos pode ser possível com secagem por atomização otimizada (GARCÍA-CRUZ, 2011).

Na última década, foi mostrado que os frutos de *H. monacanthus* têm propriedades antioxidantes e propriedades anti-proliferação (WU et al., 2006; ESQUIVEL; STINTZING; CARLE, 2007; NURLIYANA et al., 2010; KIM et al., 2011). Wu et al. (2006) verificaram que a casca e a polpa de *H. monacanthus* são ricas em polifenóis e a casca poderia inibir o crescimento de células cancerosas (melanoma B16F10 e outros tipos) (KIM et al., 2011). Tenore; Novellino; Basile (2012) mostraram que extratos de polifenol da fruta têm propriedades antioxidante e potencial nutracêutico, e que a polpa é fonte de compostos com bioatividade fitoquímica (antioxidantes). Os oligossacarídeos contidos nas espécies de *H. undatus* e *H. monacanthus* têm características prébióticas, resistência às condições ao ácido no estômago e resistência parcial para a α -amilase humana, e eles também promovem lactobacilos e bifidobactérias (WICHENCHOT; JATUPORNPIPAT; RASTALL, 2010).

O óleo de semente de pitaia é uma fonte potencial de antioxidantes naturais e contém fenólicos, tocoferóis e esteróis (LIM et al., 2010). Estudos atuais sobre o assunto se concentraram na estabilização dos compostos (LIM et al., 2012; AYALA-APONTE; GIRALDO-CUARTAS; SERNA-COCK, 2010). *H. undatus* e *H. Monacanthus* possuem 50%

de ácidos graxos essenciais; ácido linoleico está em maior proporção que o linoléico (C18:2, 48% e C18:3, 1,5%). Em sementes de *Hylocereus*, a concentração de ácido linoléico é maior do que na semente de linho, canola, gergelim ou videira. No entanto, a massa da semente em relação ao fruto é muito baixa (1:99) (ARIFFIN et al., 2009). No entanto, Chemah et al. (2010) mencionaram que as sementes de pitáia têm alto potencial como fonte de antioxidantes e ácidos graxos essenciais, com um nível excepcional de ácido linoleico: 660 g.Kg⁻¹ em *H. megalantus*, 540 g.Kg⁻¹ em *H. undatus* e 480 g.Kg⁻¹ em *H. monacanthus*.

A pitáia é uma fruta não climatérica que alcança a melhor qualidade alimentar quando colhida madura, diminuindo durante o armazenamento (NERD e MIZRAHI, 1999; NERD et al., 1999; CHIEN; SHEU; LIN, 2007). Sendo uma cultura recém-cultivada, tem havido estudos limitados focados na extensão da qualidade pós-colheita da pitáia (NERD et al., 1999; TO et al., 2002; CHIEN; SHEU; LIN, 2007; WALL & KHAN, 2008; CHUTICHUDET & CHUTICHUDET, 2011). Portanto, informações adicionais baseadas em pesquisas são necessárias para desenvolver técnicas pós-colheita que mantenham a qualidade dos frutos e aumentem a disponibilidade de frutas no mercado.

A degradação do amido aumenta na polpa após a maturação dos frutos, e é mostrado parcialmente pelo acúmulo de açúcar solúvel (WU & CHEN, 1997).

3.2 Secagem de alimentos

A pré e pós-colheita são fatores determinantes na qualidade de frutos e hortaliças. Depois da colheita, diversas transformações bioquímicas influenciam a qualidade dos frutos. Muitas das mudanças que ocorrem são continuções dos eventos normais de amadurecimento e levam ao amolecimento, a modificações na aparência e textura (TOIVONEN; BRUMMELL, 2008), a perdas nutricionais e à senescência dos frutos, o que reduz a aceitação pelos consumidores. Diante da elevada perecibilidade dos frutos, torna-se necessário que técnicas adequadas de manuseio e conservação sejam desenvolvidas, visando aumentar sua vida útil na pós-colheita (FREITAS-SILVA; SOUZA; OLIVEIRA, 2013), minimizar as perdas na qualidade e disponibiliza-los sob diferentes formas (produtos).

Considerada um fruto tropical, pouco ácido e levemente adocicado, a pitáia se deteriora com relativa facilidade e, conseqüentemente, sua vida útil pós-colheita é curta, em torno de 10 dias em condições ambiente (HOA et al., 2006; CORDEIRO et al., 2015). O uso de refrigeração pode prolongar seu tempo de prateleira, todavia existem riscos de danos por frio em temperaturas inferiores a 8 °C (RODRÍGUEZ et al., 2005).

Todavia, outro método de conservação, a secagem é um dos processos disponíveis para a aplicação na indústria de polpas de frutas, concentrando os princípios da matéria-prima e tornando o produto próprio para o armazenamento em condições ambiente por longos períodos (GOMES; FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2004). A secagem é a remoção de água do material promovido pela diferença de pressão de vapor de água entre a secagem do meio e a superfície do produto, causando a transferência de massa do produto (PARK et al., 2008).

Nesse sentido, a desidratação demonstra ser um processo propício para aproveitar o excedente da produção, disponibilizando para o mercado consumidor produtos estáveis e seguros (ROQUE-SPECHT; MAIA, 2002). De forma que, quando comparados, o processo realizado por liofilização apresenta maior vantagem devido a maior manutenção das características sensoriais e menos impacto no teor nutricional (GAVA, 2008). A desidratação dos alimentos causa, em geral, poucas alterações, sendo algumas destas desejáveis, como a perda de água, por técnicas adequadas com a conseqüente concentração dos nutrientes por unidade de peso (OLIVEIRA; AFONSO; COSTA, 2011). Além disso, estes processos são mais econômicos em relação ao armazenamento e custos de transporte, ocupando menos espaço, menos peso e não necessitando de refrigeração (FERNANDES, L. et al., 2018). E com menor dependência das condições sazonais (MARQUES; FERREIRA; FREIRE, 2007).

Existem vários tipos de secadores que podem ser utilizados na secagem de alimentos e são escolhidos com base em algumas características do processo como características do alimento, facilidade de processamento, volume processado, condições da matéria-prima, fatores de origem econômica e, principalmente, a forma que se quer dar ao produto final (FREIRE, 1992; MOURA, 2010).

Pós obtidos a partir de polpa de fruta representam um mercado interessante. Esta forma física proporciona um ingrediente estável, natural e facilmente dosável que pode ser utilizado para conferir cor e sabor aos produtos alimentares (BHANDARI et al., 1993).

Segundo Tsami, Krokida e Drouzas (1999), as características finais do produto, como sorção de água, porosidade e cor, dependem do método de secagem utilizado. Várias mudanças podem ocorrer durante a secagem de um alimento, incluindo mudanças na solubilidade, reidratação, encolhimento, mudanças na forma, tamanho, porosidade e redução da densidade, o que pode influenciar a capacidade de adsorção dos produtos secos.

Diversos produtos atualmente são liofilizados, como sopas, leite, café, mariscos, peixes, ervas aromáticas, algumas frutas e hortaliças, sendo empregado a produtos caros (ORDÓÑEZ, 2005; GAVA, 2008).

Ferreira et al. (2014), obtiveram sucesso na obtenção de polpa de cajá por processo de secagem em leito de jorro, que se mostrou eficiente na obtenção de um produto de qualidade e com maior tempo de vida útil. A mesma eficiência obteve também Rocha et al., (2014) na aplicação do processo de secagem em *spray-dryer* para obtenção de suco de caju em pó com características físicas e físico-químicas de qualidade aceitável.

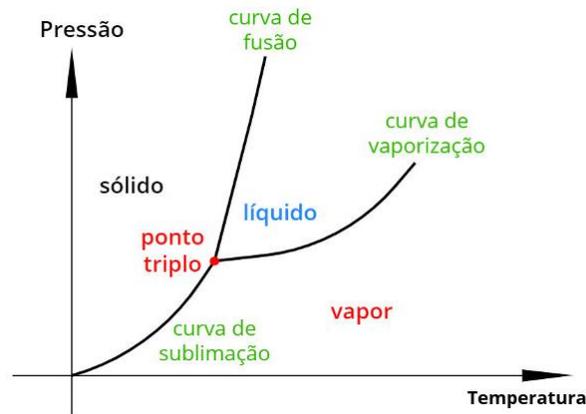
Bery et al. (2015), ao formularem, por liofilização, polpa em pó de acerola, proporcionaram um produto de melhor qualidade em suas propriedades funcionais em relação à polpa in natura.

3.2.1 Liofilização

A liofilização, também conhecida como criodesidratação (ORDÓÑEZ, 2005) ou criosecagem, ocorre em condições de pressão e temperatura controladas, onde a água congelada (estado sólido) do produto sofre sublimação (sem passar pelo estado líquido) (FELLOWS, 2006; GAVA, 2008). A liofilização resulta em produtos desidratados de alta qualidade devido à ausência de água líquida e às baixas temperaturas exigidas no processo. O estado sólido da água durante a liofilização protege a estrutura primária e minimiza mudanças na forma do produto, com redução mínima de volume, fornecendo um produto seco com estrutura porosa (RATTI, 2001).

A liofilização envolve o congelamento da água presente num material, seguido por desidratação por sublimação do gelo a vácuo (Figura 3). Essa técnica é reconhecida como um processo que permite a formação de estruturas de carboidratos totalmente amorfas (ROOS, 1997). Segundo Tang e Pikal (2004), esse processo inclui uma secagem primária, para sublimação do gelo, e uma secagem secundária, para remoção da água não congelada (associada a solutos altamente crioconcentrados). Entretanto, esses processos são simultâneos num processo de sublimação a vácuo (ROOS, 2010).

Figura 3 – Diagrama de fases.



Fonte: Google imagens (2021).

O estado físico (agregação) das moléculas depende das condições ao qual são expostas, como temperatura e pressão, apresentando-se na forma sólida, líquida ou gasosa. Em determinadas condições podem coexistir duas fases e em condições fixas possibilita a coexistência das três fases, conhecido como ponto triplo das substâncias (GAVA, 2008). Dessa forma, segundo Ordóñez (2005), a água apresenta o ponto tríplice (Figura 3) a partir de uma determinada temperatura próxima de $0,0099^{\circ}\text{C}$ e pressão $610,5\text{ Pa}$ ($4,58\text{ mmHg}$) capaz de atingir os três estados físicos da matéria. Quando submetida a temperatura e pressão mais baixas do que a do seu ponto triplo, a água não consegue atingir a fase líquida, essa questão é levada em consideração no processo de liofilização, realizado em pressão inferior.

Calor pode ser fornecido ao material sobre pressão e temperatura controlada para que a água presente passe do estado sólido para o estado de vapor (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998). Com o fornecimento de calor, e mantendo constantes as condições, ocorre a emissão de vapores dentro da câmara de secagem, fazendo com que a pressão interna aumente, efeito que pode variar que a água atinja a sublimação, assim é necessário que esses vapores sejam retirados por meio de um condensador.

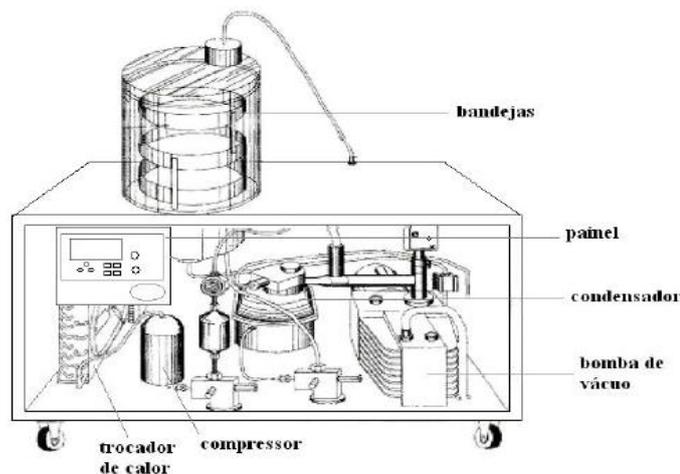
A sublimação evita o efeito de contração (colapso), que ocorre durante a secagem convencional. Ao contrário, ocorre a formação de poros e o formato do produto é mantido, o que facilita e acelera a reidratação, além de manter a aparência do produto desidratado mais semelhante à do material original. O reduzido movimento de solutos evita ainda a ocorrência do *case hardening* (RATTI, 2001).

O estado vítreo que se forma no congelamento de sucos de frutas e extratos concentrados deve ser evitado, pois torna difícil a retirada de vapor, podendo ser realizado o

congelamento dos mesmos na forma de espuma ou com polpa para alcançar as condições necessárias de saída do vapor (FELLOWS, 2006).

O liofilizador é constituído de equipamento de produção de vácuo, câmara de vácuo, sistema de aquecimento do produto, seja por condução ou radiação e condensador para converter o vapor produzido durante a sublimação em gelo (Figura 4) (ORDÓÑEZ, 2005; RODRIGUES, 2008).

Figura 4 – Esquema de um liofilizador de bancada.



Fonte: Ribeiro (2014).

A liofilização é uma técnica adequada para alimentos muito termosensíveis, já que minimiza as alterações de qualidade associadas a altas temperaturas. Graças à ausência de água líquida e às baixas temperaturas utilizadas no processo, a maioria das alterações inerentes à secagem por ar aquecido são minimizadas. Além disso, as alterações de odor, sabor e cor são mínimas, assim como as alterações nutricionais. Por sua vez, a liofilização é conhecida como o processo mais caro de desidratação (RATTI, 2001).

3.2.2 Agentes adjuvantes de secagem

Os sucos de frutas e as polpas são constituídas por soluções aquosas com grandes quantidades de carboidratos, como sacarose, glicose e frutose, que representam cerca de 95% dos sólidos presentes. Essa quantidade de açúcares determina o quão higroscópico é o estado amorfo dos pós obtidos desses alimentos, quando liofilizados (CARLOS; RESENDE; CALVIDAL, 2005).

Durante a elaboração de pó de polpa de frutas, ocorre a adição de substâncias conhecidas como adjuvantes de secagem, que realizam um revestimento das partículas, depositando-se como uma fina camada na superfície das partículas, formando microcápsulas e evitando a caramelização dos açúcares presentes (ANSELMO; MATA; ARRUDA, 2006). O processo de secagem de materiais que apresentam grandes quantidades de sólidos e açúcares resulta em produtos com alta capacidade de absorver umidade, ou seja, higroscópicos. Portanto, é fundamental a utilização de agentes carreadores, antes do processo de secagem, visando facilitar a desidratação e as operações de transporte e armazenamento (CAI; CORKE; 2000).

Estes agentes proporcionam uma barreira física de proteção contra o oxigênio, luz e umidade, evitando reações químicas e destruição enzimática, além de facilitar o manuseio, e a retenção de compostos voláteis responsáveis por caracterizar o sabor e aroma (TANAKA, 2007), bem como aumentar a temperatura de transição vítrea dos pós (TONON et al., 2009).

A variedade de material de parede, comumente usados no processo de empacotamento de partículas em cápsulas comestíveis (compostos de sabor, pigmentos, acidulantes, nutrientes, enzimas, conservantes) é relativamente limitada e inclui gomas naturais, carboidratos, proteínas, ceras e alguns polímeros naturais quimicamente modificados. Um dos materiais mais utilizados como encapsulante na secagem por atomização é a maltodextrina, pois possui como principais características baixo custo, baixa higroscopicidade, efeito antioxidante e ótima retenção de substâncias voláteis na ordem de 65 a 80% (ANSELMO; MATA; ARRUDA, 2006), principalmente em produtos com sabor e pigmento sensível (CAI; CORKE, 2000).

A maltodextrina pode ser utilizada na indústria de alimentos como agente espessante para auxiliar a secagem por atomização, substituto de gorduras, como formador de filmes, no controle do congelamento, para prevenir cristalizações e complemento nutricional (CARVALHO, 2011).

Maltodextrinas são oligossacarídeos produzidos pela hidrólise do amido, que consistem em unidades de β -D-glicose ligadas principalmente por ligações glicosídicas (1 \rightarrow 4). Suas propriedades dependem da dextrose equivalente (DE), que é uma medida do grau de hidrólise do amido em açúcares redutores e é definido como a porcentagem de dextrose anidro de uma substância totalmente seca. A dextrose pura tem um valor DE de 100 e o do amido é 0 (Nayak e Rastogi, 2010).

No entanto, diferentes agentes carreadores fornecem pós com propriedades diferentes, dependendo da estrutura e das características de cada agente carreador (Nayak e Rastogi, 2010).

Cai e Corke (2000), estudando a secagem de pigmentos de betacianina, observaram a redução da higroscopicidade com o aumento das concentrações de maltodextrina. Silva et al. (2013), avaliaram os efeitos do uso de diferentes agentes como a maltodextrina e goma arábica na obtenção de pós de frutas com alta retenção de compostos como as antocianinas. Houve mínima perda de cor, além de melhores características físico-químicas, como acidez e pH, além de diminuição da capacidade higroscópica destes, evitando problemas no produto final.

Outro adjunto que vem sendo estudado é a goma arábica, que é um exsudado gomoso dessecado dos troncos e dos ramos da *Acacia senegal* ou de outras espécies africanas de *Acacia*, a qual possui muitas espécies distribuídas nas regiões de clima tropical e subtropical. As mais importantes áreas de crescimento das espécies que produzem as melhores gomas são o Sudão e a Nigéria. Ela dissolve-se facilmente quando agitada em água, é a única entre as gomas alimentícias que apresenta alta solubilidade e baixa viscosidade em solução, facilitando desta maneira o processo de atomização (MARTINELLI, 2008).

Segundo Chàvez e Ledebøer (2007), a goma arábica é um polissacarídeo que apresenta capacidade de encapsulamento comprovada para proteger materiais sensíveis durante processos de secagem por *spray dryer*. Sua ampla utilização na microencapsulação ocorre devido a sua alta solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e elevada estabilidade oxidativa (COSTA et al., 2015). A goma arábica também evita a aderência de gotículas na câmara de secagem, produzindo pós livres (FERRARI et al., 2012). A limitação na utilização deste material ocorre devido a seu custo elevado (GHARSALLAOUI et al., 2007) e ao fato de ser proveniente de regiões de variações climáticas e conflitos políticos (VASILE et al., 2016).

As dextrinas pertencem a classe de carboidratos de baixo peso molecular, sendo obtidas por hidrólise parcial do amido em estado seco quando submetido a tratamento térmico na presença de ácido mineral em baixas concentrações. Comercialmente, dextrinas são oligômeros de amido, sendo uma combinação de unidades de D-glicose unidas por ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$ ou $\alpha(1\rightarrow6)$, apresentando a estrutura linear e ramificada da amilose e amilopectina, respectivamente, porém com baixo grau de polimerização (SILVA et al, 2014; WALTER, 1997). A fórmula química da dextrina é $(C_6H_{10}O_5)_n$, enquanto a fórmula química da maltodextrina é $[(C_6H_{10}O_5)_n H_2O]$ (SANTOS, 2016).

Diferentes tipos de dextrina podem ser obtidas de acordo com as condições da hidrólise e a fonte de amido utilizada, sendo usadas para diferentes fins como adesivos, alimentício, têxtil e cosmético (SILVA et al, 2014).

As dextrinas podem ser utilizadas como agente espessante, revestimento, adsorvedor, adesivo, formador de filmes, suplemento nutritivo, etc. (RIBEIRO et al., 2009; WHITE JUNIOR; HUDSON; ADAMSON, 2003). É um conhecido agente encapsulante para óleos vegetais e marinhos (BAKRY et al., 2016).

Estes produtos na forma seca são brancos, têm boa estabilidade (*free-flowing*), com sabor muito suave, e com pouca ou nenhuma doçura (MARTINELLI, 2008). Eles são geralmente adicionados aos sucos de frutas para aumentar a temperatura de transição vítrea (FABRA et al., 2011), resultando na redução da higroscopicidade e da pegajosidade dos pós de frutas (SYAMALADEVI et al., 2012).

Vale destacar que os agentes carreadores podem ser utilizados sozinhos ou combinados (TEODORO et al., 2019; RAJABI et al., 2015; GALLARDO et al., 2013)

3.2.3 Características físicas dos pós (escoamento, higroscopicidade), MEV.

Segundo Gomes, Figueirêdo, Queiroz (2002), o pó produzido pela secagem de polpas de frutas resulta em um material com características diferentes daquelas da polpa, requerendo a análise de suas propriedades. Estes produtos são caracterizados por obterem altos teores de sólidos solúveis e açúcares de baixo peso molecular. Estes açúcares têm natureza hidrofílica e, juntamente com um estado amorfo, podem levar a efeitos indesejáveis como alta higroscopicidade e tendência a aglomeração em temperaturas acima da temperatura de transição vítrea.

Higroscopicidade é a capacidade do pó alimentar de absorver água de um ambiente com umidade relativa superior ao do equilíbrio (JAYA & DAS, 2004; CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005). A higroscopicidade de um alimento está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica por isso, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico desses produtos (OLIVEIRA et al., 2014). Esta, por sua vez, promove aparecimento de um fenômeno definido como *caking*, além de outros efeitos indesejáveis.

Caking é um fenômeno pelo qual pó de fluxo livre se transforma em aglomerados, em seguida, aglomerado sólido e, em última análise, num material pegajoso, que resulta na perda de funcionalidade e redução da qualidade do pó, podendo também ocorrer como um resultado de recristalização, ou depois de solubilização em superfícies de cristal, pelo aumento da umidade de equilíbrio (AGUILERA; DEL VALLE; KAREL, 1995). Como consequência, há dificuldade na reconstituição e nas condições de escoamento do produto, além de afetar o

rendimento e acelerar outras reações deteriorativas que depreciam a qualidade do produto (ENDO et al., 2007).

As propriedades de escoamento dos pós são essenciais para se conhecer as melhores formas de armazenamento dos produtos (FIZTPATRICK et al., 2004). A fluidez é um parâmetro importante que determina como o processador ou consumidor vai interagir com um produto em pó. De forma que pós muito coesos podem ser problemáticos durante a formulação (THALBERG; LINDHOLM; AXELSSON, 2004). Os pós que não fluem bem podem ser mal vistos pelos consumidores, sendo que a fluidez depende do tamanho das partículas, da densidade e também das forças coesivas entre as partículas (XU; PEGG; KERR, 2015).

Diversos foram os avanços realizados no campo da pesquisa na visualização das microestruturas de partículas, chegando hoje a fornecer informações preciosas nas mais diversas linhas de trabalho (RODRIGUES, 2012).

Segundo Maliska (2012), o microscópio eletrônico de varredura – MEV, possui elementos essenciais para a realização das análises, apresentando coluna composta por um canhão de elétrons, sistema de desmagnificação e unidade de varredura. O canhão de elétrons é responsável pela produção do feixe de elétrons, captado pelos detectores, o qual é desmagnificado por várias lentes eletromagnéticas com o objetivo de produzir um feixe de elétrons focado com um pequeno diâmetro numa determinada região da amostra (MALISKA, 2012).

Conforme Dedavid; Gomes; Machado (2007), o MEV apresenta uma alta resolução de suas imagens sendo um instrumento bastante versátil, alcançando resoluções menores do que 1 nm, podendo obter imagens tridimensionais, mostrando o quanto o equipamento é eficiente.

3.3 Isotermas de sorção

Durante a desidratação por liofilização dos sucos de frutas e polpa, são obtidos produtos com alto grau de açúcares amorfos. O estado amorfo favorece a alta higroscopicidade e a maior capacidade de adsorção de água do método (CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005). A tendência para a aglomeração é um efeito atribuído a absorção de água na superfície das partículas, formando uma solução saturada, tornando as partículas pegajosas e capazes de formar pontes de hidrogênio, causando o fenômeno da aglomeração (GOULA et al., 2008). Uma maneira de conhecer o comportamento higroscópico dos produtos alimentícios em pó é através das isotermas de sorção (PARK; BIN; BROD, 2001).

Dependendo da natureza do pó alimentar (cristalino ou amorfo), a forma das isotermas é diferente. A maioria dos alimentos em pó possui estruturas complexas, incluindo solutos potencialmente cristalizáveis, como os açúcares, que mostram alterações na cristalinidade durante a adsorção de água (MATHLOUTHI; ROGÉ, 2003). Carlos, Resende e Cal-Vidal (2005) confirmam este comportamento relacionando que as características de sorção foram correlacionadas com o grau de cristalização do açúcar.

Para as frutas desidratadas na forma de pó, é importante estudar as isotermas de equilíbrio higroscópico do produto que tem por finalidade estabelecer se o mesmo, sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar, tende a sorver ou dissolver água. Diante do conhecimento do valor da atividade de água (a_w) de um produto podem ser previstas reações químicas e enzimáticas, e desenvolvimento de microrganismos. A partir do conhecimento da a_w pode-se, também, propor sistemas adequados de embalagem para um determinado produto. Esta medida é de fundamental importância, visto que, por meio dela, podem ser previstas reações químicas e enzimáticas, e desenvolvimento de microrganismos. (OLIVEIRA; AFONSO; COSTA, 2011).

A plotagem do teor de umidade de equilíbrio dos materiais versus a atividade de água a uma dada temperatura é referida como uma isoterma de sorção. As isotermas de sorção de água são ferramentas termodinâmicas úteis para prever a interação entre os componentes dos alimentos e a água. As isotermas de sorção também podem ser usadas para investigar características estruturais de um produto alimentício, como área de superfície específica, volume de poros, distribuição de tamanho de poros e cristalinidade. Tais dados podem ser usados para selecionar condições adequadas de armazenamento e sistemas de embalagem que otimizam ou maximizam a retenção de aroma, cor, textura, nutrientes e estabilidade biológica, e otimizam as condições de secagem ou reidratação de um produto (RIZVI, 1995).

A isoterma é uma curva que descreve, a certa temperatura, a relação entre o equilíbrio de uma quantidade de água absorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa. Muitos autores desenvolveram modelos para o ajuste de sorção isotermas com o objetivo de prever o comportamento das isotermas através de aspectos estruturais, dinâmicos e termodinâmicos da água, traduzida em teorias e equações que são na sua maioria empírica, entre as quais a teoria BET é atualmente a mais completa (PARK et al., 2008).

Esses modelos permitem que com poucos pontos experimentais seja possível construir isotermas de umidade, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas a_w , pontos estes de difícil determinação

experimental. Atualmente, vários são os modelos com capacidade de prever uma isoterma (CORRÊA et al., 2006; PENA; RIBEIRO; GRANDI, 1997).

Dentre os modelos matemáticos mais utilizados para isotermas de adsorção destacam-se:

3.3.1 Modelo de BET:

É o modelo mais amplamente utilizado em sistemas alimentares. A equação BET (Equação 1) representa uma base na interpretação de multicamadas de sorção isotérmicas e ele tem sido aplicado na adsorção de gases e vapor poroso em superfícies e de sólidos, bem como em água, especialmente na adsorção de vapor, por polímeros homogêneos e outros materiais (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011).

O teor de umidade de monocamada, (X_m), representa o teor de umidade no qual a água ligada a cada grupo polar e iônico começa a comportar-se como uma fase líquida. C é a energia constante relacionada com o líquido de absorção de calor, que é relacionado com a diferença entre as moléculas que a energia da bomba de adsorção da primeira camada e as outras camadas restantes (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011).

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n+1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n-1}}{1 - (1-C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right] \quad (1)$$

Onde,

a_w - atividade de água, adimensional;

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (b.s.);

n - número de camadas moleculares, adimensional;

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, e;

C - constante de ajuste do modelo, adimensional.

Esta equação tem dois importantes casos especiais: quando $n = 1$, ela fica reduzida a equação de Langmuir e quando n tende ao infinito, ela se reduz a equação de BET linearizável (OLIVEIRA, 2011). Park et al. (2008), descreve ainda que $n = 1$ corresponderia a região de baixa atividade de água, $a_w < 0,35$, e $n = \infty$ corresponderia a de alta atividade de água.

3.3.2 Modelo de GAB:

A equação de GAB é um refinamento das teorias de adsorção física do Langmuir e BET e tem um parâmetro a mais, K , que mede a diferença do potencial químico padrão entre as moléculas desta segunda fase e os do estado líquido puro, sendo assim capaz de aproximar bem a maioria das isotermas experimentais para atividade de água até cerca de 0,9. Assim, verificou-se como sendo adequado para a análise de mais de 50 % de frutos, carne e vegetais (BLAHOVEC, 2004; ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011).

O modelo de GAB é apresentado na Equação 2.

$$X_e = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (2)$$

Onde,

a_w - atividade de água, adimensional;

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (b.s.);

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular, g.g⁻¹;

C e K - constantes de adsorção, adimensional.

De acordo com o modelo descrito C e K são constantes de adsorção relacionados com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes, num dado sítio de sorção. Quando $K = 1$, a equação de GAB fica reduzida à equação de BET linearizável (PARK et al., 2008).

As principais vantagens do modelo de GAB são as seguintes: ele tem uma opção de base teórica viável, uma vez que é um aperfeiçoamento das teorias físicas da adsorção de Langmuir e BET; fornece uma boa descrição do comportamento de sorção de quase todos os produtos alimentares (a_w 0- 0,9); seus parâmetros têm um significado físico em termos de processos de sorção, e que descreve a maioria dos efeitos da temperatura sobre isotermas por meio da equação de Arrhenius (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011).

3.3.3 Modelo de HENDERSON:

É um dos modelos mais empregados e descreve bem o comportamento de alimentos com uma ampla faixa de atividade de água (0,1 a 0,75), como grãos, cereais e frutas (OLIVEIRA, 2012). O modelo é descrito na Equação 3:

$$X_e = \left[\frac{-1n(1-a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}} \quad (3)$$

Onde,

a_w - atividade de água, adimensional;

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (b.s.);

a e b - constantes de ajustes dos modelos, adimensional.

3.3.4. Modelo de OSWIN

É um modelo empírico que consiste em uma expansão da série de curvas de forma sigmóide e foi desenvolvido por Oswin (Equação 4). É utilizado para relacionar o teor de umidade de leite em pó e chá liofilizado até uma atividade de água de 0,5, bem como para vários alimentos (ANDRADE; LEMUS; PÉREZ, 2011). Apresenta algumas vantagens sobre os modelos cinéticos de BET e GAB: apenas duas constantes de fácil linearização (PARK et al., 2008).

$$X_e = a. \left[\frac{a_w}{1-a_w} \right]^b \quad (4)$$

Onde,

a_w - atividade de água, adimensional;

X_e - umidade de equilíbrio, base seca (b.s.);

a e b - constantes de ajustes dos modelos, adimensional.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção da Matéria Prima

Para a realização deste trabalho foram utilizadas polpas de pitaia vermelha adquiridas em comércio local de Fortaleza – Ceará. As polpas foram acondicionadas em sacos de polietileno com 100 g cada e foram armazenadas no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará em temperatura de -18 °C até a realização dos procedimentos laboratoriais.

Os adjuntos de secagem Maltodextrina (Cargill/Maltogill de dextrose equivalente 20 - DE20), Dextrina (Ingredion Amisol® 4800) e Goma arábica (CAS 9000-01-5, Èxodo científica) foram adquiridos no comércio local de Fortaleza – Ceará.

4.2 Análises físico-químicas da polpa de pitaia

A caracterização da polpa de pitaia integral foi realizada no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará. Para realização das análises das polpas, as mesmas foram previamente descongeladas em temperatura de refrigeração (8°C±2°C).

A caracterização físico-química da polpa de pitaia integral compreendeu as análises descritas a seguir.

4.2.1 Umidade

A análise de umidade foi realizada através de infravermelho em determinador de umidade digital (ID50, Marte, São Paulo), sob condições de 105°C/30s/0,05% de variação, conforme instruções do fabricante. A umidade foi expressa em porcentagem.

4.2.2 Atividade de Água

A determinação da atividade de água mediu-se através de higrômetro digital, modelo AQUALab (Decagon Devices, modelo 4TE) na temperatura de 25 °C, conforme instruções do fabricante.

4.2.3 pH

Seguiu-se a norma analítica 017/IV para determinação eletrométrica do pH segundo Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando potenciômetro, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0. A leitura foi realizada diretamente na amostra.

4.2.4 Acidez Total Titulável

Nas polpas de pitaia, a acidez foi determinada por titulometria segundo norma 016/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008), no qual a amostra foi acrescentada de água destilada e fenolftaleína 1% em erlenmeyer de 100 mL e então titulada com NaOH 0,1 N até coloração levemente rósea. O cálculo para obtenção da acidez foi efetuado por meio da Equação 5:

$$A = \frac{F_{AC} \times F_{NaOH} \times V_{NaOHgasto} \times 10}{P_a} \quad (5)$$

Onde,

A = acidez (%);

F_{AC} = fator do ácido (ácido málico);

F_{NaOH} = fator do hidróxido de sódio;

$V_{NaOHgasto}$ = volume de hidróxido de sódio gasto;

P_a = Peso da amostra.

4.2.5 Açúcares redutores, não-redutores e totais

As análises de açúcares totais e redutores foram determinadas pelo princípio da redução do DNS (3,5 - ácido dinitrosalicílico) descrito segundo Miller (1959).

4.2.6 Sólidos solúveis

Seguindo as normas analíticas 315/IV para frutas e produtos de frutas do Instituto Adolfo Lutz (2008), os sólidos solúveis nas polpas de pitaia foram determinados por refratometria e os resultados expressados em °Brix.

4.2.7 Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi realizado pelo método de Tillman conforme descrito por Strohecker e Henning (1967), no qual aproximadamente 1 g da amostra foi pesada em um becker e adicionada de ácido oxálico (0,5%). Em seguida, o conteúdo do becker foi transferido

para um balão de 100 mL e o volume completado com ácido oxálico (0,5%). Uma alíquota de 5 mL foi transferida para um erlenmeyer contendo 45 mL de água destilada e levada para titulação com 2,6 – diclorofenolindol (DFI), de concentração 0,02%, até coloração rósea persistente. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g de amostra.

4.2.8 Cor

A cor das amostras foi obtida através do sistema de leitura CIElab dos parâmetros L^* , a^* e b^* utilizando equipamento colorimétrico Konica Minolta Spectrophotometer modelo CR410, conforme orientação do fabricante, sendo L^* a luminosidade (0 = preto e 100 = branco), a^* (cromaticidade vermelho e verde); b^* (cromaticidade amarelo e azul). Através da leitura no equipamento, ainda foi obtido os parâmetros C (chroma) e H (ângulo Hue).

4.2.9 Betalaínas

O teor de betalaína foi realizado conforme descrito por Lim et al., (2011). A análise deu-se por meio de extração por ultrassom com posterior análise do conteúdo de betacianinas e foi calculado de acordo com a equação 6:

$$B = \frac{A_{538} \times (MM) \times V \times (FD) \times 100}{\epsilon LM} \quad (6)$$

Onde:

B = Conteúdo de Betacianinas (mg/100 g de massa fresca);

A_{538} = Absorbância a 538 nm (λ_{\max});

V = Volume do extrato (mL);

L = Comprimento do caminho ótico da cubeta = 1 cm;

FD = Fator de diluição no momento da leitura;

M = Massa utilizada para extração (g);

ϵ = Coeficiente de absorvidade molar = 60000 L/mol⁻¹ cm em H₂O, para betacianinas;

MM = Massa molecular = 550 g/mol⁻¹.

4.2.10 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos totais foram determinados pela metodologia de Larrauri, Rupérez & Saura-Calixto (1997) e Owuor & Obanda (1997). A amostra foi testada para determinar a alíquota que demonstrasse leitura dentro da curva pré-estabelecida de ácido gálico (Curva padrão de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg.mL⁻¹). A mistura reacional continha 75 µL do extrato fenólico, 425 µL de água destilada, 500 µL de reagente Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich,

Alemanha), 1 mL de carbonato de sódio (Na_2CO_3 20%) e 1 mL de água destilada. A mistura foi agitada e, em seguida, deixada em repouso na ausência de luz por 30 min a 25 °C. A absorvância foi medida utilizando espectrômetro no comprimento de onda de 700 nm. O resultado foi expresso em mg de Ácido Gálico equivalente/100 g (massa fresca ou massa seca).

4.3 Secagem e Planejamento Experimental

A secagem da polpa de pitáia integral foi realizada no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará, onde as polpas de pitáia vermelha foram descongeladas sob temperatura de refrigeração e formuladas com adição dos adjuvantes de secagem maltodextrina, dextrina e goma arábica, utilizando um agitador mecânico de soluções (TE – 120 TURATEC) empresa TECNAL.

As amostras foram congeladas à -38 °C em bandejas circulares (18 cm de diâmetro) de aço inox, utilizando ultra-freezer vertical da empresa Terroni Equipamentos Científicos (modelo CL90 – 40V) e, posteriormente, liofilizadas em liofilizador de bancada da empresa Terroni Equipamentos Científicos, (modelo LS3000B) durante 24 horas. As pressões finais no liofilizador atingiram valores entre 20 e 30 Pa e a temperatura final das amostras foi de 25 °C.

A polpa de pitáia desidratada foi removida das bandejas por meio de raspagem e submetida à moagem em moinho de bancada MA 048, empresa Marconi, para obtenção do produto em pó que foi pesado em uma balança semi-analítica SHIMADZU AY200 e, em seguida, acondicionados em embalagens laminadas compostas de PET, alumínio e poliamida. As análises foram realizadas no mesmo dia de obtenção do produto.

Com o intuito de avaliar a influência dos três adjuvantes de secagem sobre o pó da polpa de pitáia, foi utilizado um delineamento de misturas do tipo Simplex Centroides. Cada amostra tinha 400 g, contendo, em massa, 80% (320 g) de polpa de pitáia e 20% (80 g) de adjuvante ou mistura destes. A proporção de cada adjuvante (80 g) foi feita de acordo com o delineamento de misturas descrito na Tabela 1. As formulações e os resultados das variáveis de interesse em cada amostra foram avaliados através do software Statistica 10.0 (STATSOFT, 2010).

Tabela 1 – Delineamento de misturas para maltodextrina, goma arábica e dextrina.

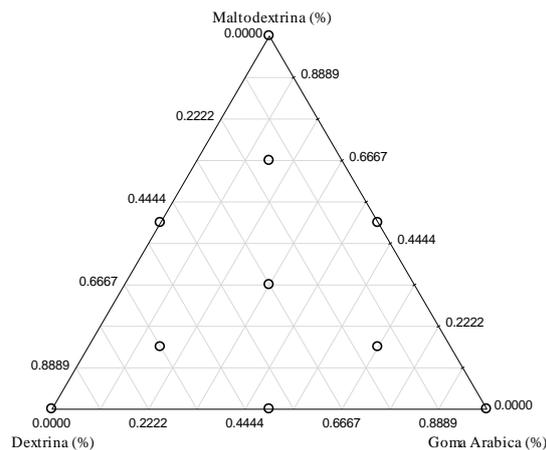
Ensaio	Maltodextrina (%)	Goma arábica (%)	Dextrina (%)
1	100	0	0
2	0	100	0

3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	33,33	33,33	33,33

Fonte: A autora (2019).

Para definição do melhor adjuvante ou mistura destes, foram avaliadas as seguintes características: higroscopicidade, solubilidade, umidade, índice de fluxo, índice de Carr e relação de Hausner. Na Figura 5 é apresentado um exemplo de diagrama ternário que foi utilizado para interpretação do comportamento de cada adjuvantes sobre essas variáveis.

Figura 5 – Diagrama gerado pelo delineamento experimental simplex centroide para os adjuvantes de secagem.



Fonte: A autora (2019).

4.4 Análises físicas dos pós da polpa de pitaiá

Ainda na avaliação da influência de cada um dos adjuvantes (maltodextrina, goma arábica e dextrina) sobre as características físicas dos pós da polpa de pitaiá, amostras de pó contendo 20% (m/m) de cada um dos adjuvantes foram submetidas as análises morfológicas (MEV), das propriedades de escoamento e dos índices de fluxo. As isotermas de sorção para cada amostra foram também determinadas e analisadas. As metodologias são descritas a seguir.

4.4.1 Avaliação do escoamento do pó da polpa de pitaiá

As análises de escoamento foram feitas com o auxílio do equipamento Powder Flow Test (PFT), da empresa Brookfield Engineering Laboratories. As amostras, em duplicata, com 20 g dos pós da polpa de pitaiá foram colocadas, separadamente, em bandejas circulares de aço

inox e transferidas ao equipamento que aplicou tensões variadas na superfície dos pós, através de disco circular de aço inox, para medição dos parâmetros de escoamento, onde o equipamento gera o relatório com os dados. Os escoamentos dos pós foram avaliados através dos ângulos de atrito com parede, densidades aparente e de compactação para os pós de polpa de pitaia. Além disso, foram obtidas as relações entre tensões não confinadas de deslizamento e tensões principais de consolidação aplicadas às amostras. A partir das densidades foram determinados o índice de Carr (Equação 9) e a relação de Hausner (Equação 10) e os pós foram classificados, quanto sua fluidez, pelas faixas apresentadas na Tabela 2, de acordo com Aziz et al., (2018).

$$IC = \frac{\alpha_c - \alpha_a}{\alpha_c} \times 100 \quad (9)$$

$$RH = \frac{\alpha_c}{\alpha_a} \quad (10)$$

Onde,

α_c = densidade de compactação (kg/m³);

α_a = densidade aparente (kg/m³)

Tabela 2 – Classificação da fluidez de pós (Aziz et al., 2018).

Fluidez	Índice de Carr (%)	Relação de Hausner
Excelente	<10	1,00-1,11
Boa	11-15	1,12-1,18
Adequada	16-20	1,19-1,25
Aceitável	21-25	1,26-1,34
Difícil	26-31	1,35-1,45
Muito difícil	32-37	1,46-1,59
Excessivamente difícil	>38	>1,60

Fonte: Aziz et al. (2019).

Para classificar o escoamento dos pós utilizou-se o índice de fluxo (I_f) conforme Equação 11 e Tabela 3, de acordo com Jenike (1964).

$$I_f = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (\text{Equação 11})$$

em que:

I_f - Índice de fluxo;

σ_1 - média da tensão principal de consolidação, kPa;

σ_c - média da tensão não confinada de deslizamento, kPa.

Tabela 3 – Classificação do tipo de escoamento de produtos sólidos armazenáveis.

Tipo de escoamento	Índice de fluxo (I_f)
Sem escoamento	$I_f < 1$
Muito coesivo	$1 < I_f < 2$
Coesivo	$2 < I_f < 4$
Fácil	$4 < I_f < 10$
Livre	> 10

Fonte: Jenike (1964).

4.4.2 Avaliação morfológica por MEV

A avaliação morfológica foi feita por microscopia por varredura eletrônica. Foram realizadas na Central Análítica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará – UFC. Por meio do uso do microscópio eletrônico de varredura – MEV (Quanta FEG 540) para avaliar a superfície e a morfologia dos pós. Os pós de pitaia vermelha foram depositados sobre fita adesiva dupla face, e então fixados em suporte metálico. A placa metálica com os pós foi recoberta com platina e ouro em metalizadora (Quorum Q 1550T ES) e operada a 5m e 10 kV, fornecendo uma cobertura de, aproximadamente, 25 μm . Foram capturadas e digitalizadas imagens para posterior análise.

4.4.3 Isotermas de sorção dos pós

Foram realizadas no Laboratório de Controle e Secagem de Alimentos da Universidade Federal do Ceará. Para os pós da polpa de pitaia vermelha, a metodologia utilizada para a determinação das isotermas de adsorção de umidade foi o método gravimétrico estático, descrito por Spiess e Wolf (1987), utilizando-se soluções saturadas de sais (Tabela 4).

Tabela 4 – Atividade de água para soluções salinas saturadas a $21 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Soluções Salinas	Atividade de água (a_w)
$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$	0,21
K_2CO_3	0,44
NaBr	0,58

SnCl ₂	0,76
KCl	0,84
BaCl ₂	0,90

As soluções de sais foram preparadas e colocadas em recipientes de vidro temperado, tendo as dimensões de 15 cm de comprimento por 15 cm de altura, fechados com silicone e por uma tampa de 19 cm de comprimento, denominados de células, conforme Figura 6.

As amostras foram pesadas, em duplicata, com aproximadamente 0,6 g, e colocadas em cadinhos de alumínio, e estes colocados sobre suporte contido dentro das células. Logo após, os recipientes foram colocados em B.O.D para que fossem estudados nas temperaturas de 25 e 40 °C. As amostras permaneceram em determinada temperatura até atingirem o equilíbrio, ou seja, até que não houvesse mais variação de massa acima de 1%. Foram feitas pesagens dos cadinhos, contendo as amostras, a cada 24 horas até atingirem a umidade de equilíbrio detectadas através de pesagem em balança analítica. Posteriormente, os cadinhos foram levados ao equipamento para medição da atividade de água final das amostras (AQUALAB).

A umidade de equilíbrio (X_0) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca, conforme a Equação 12:

$$X_0 = \frac{M_E - M_S}{M_S} \quad (12)$$

Onde:

X_0 = umidade de equilíbrio (g.g⁻¹);

M_E = massa da amostra no equilíbrio (g);

M_S = massa da amostra seca (g).

Figura 6 – Células de solução salina das isotermas de adsorção contendo amostras de pós de pitaia vermelha, colocadas em B.O.D.



Fonte: A autora (2020).

Para o ajuste dos dados experimentais das isotermas foram utilizados os modelos matemáticos de: BET, GAB, Henderson e Oswin já descritos no item 3.4.

Os modelos foram avaliados segundo os coeficientes de correlação entre as respostas observadas e as previstas pelos modelos, além do módulo do erro médio relativo (E) definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e previstos conforme a Equação 13 (KUROZAWA; EL-AOUAR; MURR, 2005).

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad (13)$$

Onde:

E = erro médio relativo;

M_i = Valor experimental;

M_{pi} = Valores previstos pelo modelo;

n = Número de dados experimentais.

4.5 Análises físico-químicas dos pós da polpa de pitaia

Após a análise dos resultados do delineamento experimental e das análises físicas dos pós contendo os diferentes adjuvantes e suas misturas, foi escolhida uma formulação para caracterização físico-química e posterior ensaios de estabilidade. A formulação escolhida foi liofilizada e sobre os pós obtido foram realizadas as análises físico-químicas. As análises, realizadas em triplicata, foram: umidade, atividade de água, ácido ascórbico, compostos

fenólicos, betalaínas, cor, pH e sólidos solúveis totais, seguindo as metodologias descritas no item 4.2, com alterações apenas no preparo das duas últimas análises, conforme descrito abaixo.

4.5.1 pH

Na determinação do pH do material em pó, foram realizada diluição 1:10 (pó:água destilada) com posterior leitura, em potenciômetro, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e pH 7,0, conforme o método do Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.5.2 Sólidos Solúveis Totais

Nos produtos em pó houve diluição de 1 g da amostra para 10 mL de água destilada com homogeneização das partículas em suspensão e posterior leitura, seguindo as normas do Instituto Adolf Lutz (2008).

4.6 Avaliação da estabilidade dos pós da polpa de pitaia liofilizada

A avaliação da estabilidade do pó da polpa de pitaia, a partir da formulação escolhida de acordo com o delineamento experimental e as análises físicas dos pós, foi realizada no Laboratório de Controle e Secagem de Alimentos da Universidade Federal do Ceará. As amostras de pós foram acondicionadas em embalagens laminadas (embalagem laminada ESA 038, cor ouro, sanfonada com materiais Pet + Alumínio + Poli, e de gramatura 122 g/m²) à vácuo sob temperatura ambiente. Todas as análises foram realizadas em triplicata a cada 15 dias por um período de 60 dias de armazenamento. A avaliação compreendeu as análises de umidade, pH, acidez total titulável, cor, compostos fenólicos e betalaínas (descritas no item 4.2), além das análises de higroscopicidade, grau de *caking* e solubilidade, descritas a seguir.

4.6.1 Higroscopicidade

Na determinação da higroscopicidade foi utilizada metodologia de Goula e Adamopoulos (2010), que consiste em espalhar cerca de 1 g do produto em pó, uniformemente, sobre uma placa de Petri. E, posteriormente, colocada em um dessecador com uma umidade relativa do ar (UR) de 79,5 %, sendo verificado o aumento de peso a cada 10 minutos, até que um peso constante fosse atingido.

A Tabela 5 apresenta a classificação dos pós segundo sua higroscopicidade final.

Tabela 5 – Classificação dos pós de acordo com sua higroscopicidade.

Higroscopicidade
Não higroscópico <10%
Ligeiramente higroscópico 10,1-15%
Higroscópico 15,1-20%
Muito higroscópico 20,1-25%
Extremamente higroscópico >25%

Fonte: GEA Niro Research Laboratory (2003).

4.6.2 Grau de caking

Seguindo a metodologia de Goula e Adamopoulos (2010), o grau de *caking* foi determinado levando a amostra à estufa por 5 horas a uma temperatura de 105 °C. Após resfriamento em dessecador a amostra foi pesada novamente e peneirada em peneira com malha (mesh) definida. O material retido na peneira foi pesado e o grau de *caking* foi calculado conforme a equação 14:

$$GC = \frac{100 \times a}{b} \quad (14)$$

Onde: *GC* = Grau de *caking* da amostra (%); *a* = Peso do material retido na peneira (g); *b* = Peso inicial do material utilizado (g).

4.6.3 Solubilidade

O método para obtenção da solubilidade, seguindo metodologia de Cano-Chauca et al. (2005), consistiu em adicionar 1,0 g da amostra em 100 mL de água destilada sob agitação de 2000 rpm em agitador magnético durante 5 min. A solução foi colocada em tubos e centrifugada a 3000 rpm durante 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para placa de Petri e, imediatamente, seca em estufa a 105°C durante 5 horas.

4.7 Estatística

As análises foram realizados, no mínimo, em triplicata ($n = 3$), com exceção das análises de escoamento e isotermas, que foram realizadas em duplicata ($n = 2$). Os resultados foram avaliados utilizando análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey para determinar as diferenças significativas ($p < 0,05$) utilizando o software estatístico Statistica 10,0 (StatSoft, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização físico-química da polpa *in natura*

A polpa de pitaiá vermelha integral foi analisada quanto a sua composição físico-química. A Tabela 6 apresenta os valores das análises físico-químicas das polpas de pitaiá vermelha integral.

Tabela 6 – Caracterização físico-química da polpa integral de pitaiá vermelha.

		Médias e desvios-padrão
Sólidos solúveis totais (°Brix)		11,86 ± 0,52
Acidez total titulável (% ácido málico)		0,42 ± 0,04
pH		4,78 ± 0,15
Atividade de água (a _w)		0,98 ± 0,00
Umidade (%)		85,40 ± 1,42
COR	L*	26,01 ± 0,19
	a*	12,73 ± 3,50
	b*	0,51 ± 0,74
	C*	12,71 ± 3,54
	H*	122,27° ± 204,35
Ácido ascórbico (mg/100 g)		107,02 ± 1,17
Açúcar redutor		19,04 ± 2,44
Açúcar total		19,14 ± 0,70
Fenólicos (mg EAG/100 g)		111,17 ± 15,19
Betalaínas (mg/100 g)		11,43 ± 1,94

L*, a*, b*, C* e H* (parâmetros de cor – Escala CIELab), sendo L* (luminosidade), a* (cromaticidade vermelho e verde); b* (cromaticidade amarelo e azul), C (chroma) e H (ângulo Hue).
Fonte: A autora (2019).

Os resultados dos sólidos solúveis, acidez titulável e pH foram próximos aos encontrados por Abreu et al. (2012), em seu estudo com pitaiá vermelha, cujos sólidos solúveis foram 11 °Brix, pH de 4,88 e acidez total titulável de 0,24 mg de ácido cítrico/100 g. Cordeiro et al. (2015), analisando frutos maduros da mesma espécie produzidas no norte de Minas Gerais, relataram valores de acidez total titulável de 0,29 mg de ácido málico/100 mL, pH de 5,32 e sólidos solúveis a 13,14 °Brix. Magalhães et al. (2019), estudando pitaiá de polpa vermelha, encontraram valores de sólidos solúveis totais, acidez total titulável e pH de 17,88 °Brix, 0,20

mg de ácido málico/100 g e 4,47, respectivamente. Santos et al., (2016), estudando dois estádios de maturação da pitiaia de polpa branca (*Hylocereus undatus*) encontraram o valor de 12,73 °Brix para fruto maduro sob refrigeração. Moraes et al., (2019) avaliando polpa de pitiaia vermelha, obtiveram resultado de sólidos solúveis totais de 15,30 °Brix. Essas diferenças nos valores entre o presente estudo e a literatura podem ser justificadas pelas diferenças de cultivos, colheita em estágios de maturidade diferentes do fruto, tipo de solo, adubação, parte da polpa analisada e diferentes espécies do gênero *Hylocereus spp.*

De acordo com Brunini e Cardoso (2011) e Chitarra e Chitarra (2005), os teores de acidez total decrescem com o amadurecimento dos frutos em decorrência do processo respiratório e da utilização de ácidos orgânicos, como substratos nas reações metabólicas. Para Nerd e Mizrahi (1999), acidez titulável inferior a 1%, explica um bom sabor e doçura em frutos de pitiaia. Segundo Wanitchang et al. (2010), frutos com teor de sólidos superiores a 12 °Brix apresentam melhor aceitabilidade para consumo.

Os valores de umidade para a polpa de pitiaia deste trabalho foi de 85,40%. Esse resultado está próximo aos encontrados por Cordeiro et al. (2015) e Santos et al. (2020), que encontraram valor médio de umidade de 87,14% e 89,46%, respectivamente, indicando alta concentração de água nas polpas.

Quanto à coloração da polpa de pitiaia e, de acordo com a escala CieLab*, a coordenada a* é o parâmetro que indica a presença de pigmentos vermelhos, indicativos do aumento da maturação do fruto (Pereira et al., 2006; Silva et al., 2010). Valores superiores de a* e b* ao deste trabalho foram encontrados por Santos et al. (2020), que obtiveram 18,71 para coordenada a* e 8,67 para b*, em polpas de pitiaia vermelha que foram peneiradas. A diferença dos valores pode ter sido devido que, na amostra deste trabalho, a polpa e as sementes foram avaliadas juntas, e não separadas por peneiração como no estudo de Santos et al. (2020).

Quanto à luminosidade da polpa (L*), Phebe et al. (2009) verificaram para *H. polyrhizus* valor de 33,75, resultado superior ao observado no presente trabalho, indicando que a pitiaia de polpa vermelha deste trabalho apresenta menor brilho e cor mais escura (L* = próximo a zero). Santos et al. (2016), encontraram valores de L*, C* e H* de 51,80; 7,70; 96,40, respectivamente, para pitaias de polpa branca. Cordeiro et al. (2015), obtiveram valores médios de L*, C* e H* de 14,25; 38,89 e 172,00, respectivamente, para pitaias de polpa vermelha. Os valores de cromaticidade e ângulo hue da polpa observados por Chik, Bachok e Baba (2011), foram de 27,8 e 3,10 para *H. polyrhizus*. As diferenças observadas para esses parâmetros pode ser explicada pela diferença de espécies, parte da polpa do fruto avaliada e ainda a homogeneidade da amostra.

O resultado de ácido ascórbico deste trabalho mostrou-se superior ao encontrado por Abreu et al. (2012), que obtiveram teores de ácido ascórbico para polpas de pitaias brancas e vermelhas variando entre 17,73 a 20,69 mg.100g⁻¹, onde o mesmo afirma que essas diferenças nos teores de ácido ascórbico observadas nos estudos provavelmente ocorreram devido à utilização de frutos com diferentes origens, cultivar, espécie e grau de maturação.

Os açúcares constituem a maior parte dos sólidos solúveis (CORDEIRO et al., 2015) e frutos com altos teores de açúcar são preferidos tanto para o consumo *in natura* como para a industrialização, por propiciarem maior rendimento no processamento (SANTOS et al., 2010).

O valor de açúcar total (Tabela 6) obtido nesse trabalho foi próximo ao de Cristofoli et al. (2014), que avaliando polpa de pitáia vermelha adquirida na cidade de Fortaleza – CE, encontraram valores próximos ao deste trabalho, com teor de açúcar total de 18,50%. Já Wu et al. (2006), encontraram valores de açúcares totais menores (10,1%) em pitaias vermelhas. O grau de maturação e a parte da polpa do fruto analisada, assim como o método da análise utilizada resultam em diferentes teores de açúcares. De modo geral, os frutos tem aumento na concentração de açúcares, durante a maturação, o que na maioria das vezes ocorre, ainda, na planta, no entanto, após a colheita, principalmente, em frutos climatéricos pode acontecer síntese de açúcares, resultando na elevação dos açúcares totais (Chitarra e Chitarra, 2005).

Já para o resultado de açúcar redutor, valores na literatura estão bem abaixo do encontrado neste trabalho, como o de Cristofoli et al. (2014), com valor de açúcar redutor de pitáia vermelha de 2,41% e Oliveira; Afonso; Costa (2011), como teor de açúcar redutor de 9,67% em polpa de sapoti. Tal diferença pode ter sido erro na análise. Os açúcares redutores atribuem sabor doce mais acentuado, portanto conferem aos frutos características interessantes para comercialização (CRISTOFOLI et al., 2014).

Valores próximos para o teor de fenólicos totais deste trabalho foram encontrados por Abreu et al. (2012), que obtiveram teor de fenólicos totais para pitaias de polpas branca e vermelha variando entre 118,18 a 124,55 mg EAG.100g⁻¹, respectivamente, e Mahattanatawee et al. (2006), que encontraram teor de fenólicos de 107,5 mg EAG.100g⁻¹ em pitaias de polpa vermelha. Resultado superior foi encontrado por Liu et al. (2019), para pitáia de polpa vermelha, com conteúdo de fenólicos totais variando de 245 a 156 mg EAG.100g⁻¹ durante 30 dias de armazenamento. Já Li et al. (2017), ao estudaram pitáia de polpa branca, obtiveram valor inferior (100 mg EAG.100g⁻¹) ao deste trabalho. Segundo a literatura, as diferenças no teor de fenólicos totais pode ser justificada devido à utilização de frutos com diferentes origens, cultivar, espécie e grau de maturação. Chitarra e Chitarra (2005), ainda ressaltam que, em

decorrência de diversos fatores, como o consumo de compostos por processos bioquímicos e de degradação, os compostos fenólicos decaem durante o amadurecimento dos frutos, o que pode ter acontecido com os trabalhos aqui mencionados.

Liao et al. (2020), estudando a estabilidade da cor em sucos de pitaiia vermelha, com valor médio de betacianinas de 14,88 mg.100 ml⁻¹. De acordo com Mello et al. (2015), a cor característica da pitaiia é principalmente por causa da síntese de pigmentos de betalaína. García-Cruz et al. (2017), ainda reforçam que esses pigmentos fornecem alta capacidade antioxidante e são benéficas para a saúde humana.

4.2 Resultados do planejamento experimental

Os ensaios do delineamento foram formulados a partir da mistura ternária entre a polpa de pitaiia vermelha e os três adjuvantes, maltodextrina DE 20, dextrina e goma arábica conforme ensaios previstos pelo planejamento simplex centroide na Tabela 1.

As variáveis respostas do delineamento de misturas foram utilizadas com a finalidade de avaliar a melhor formulação baseado na proporção de cada componente da mistura em função da melhor resposta. Como variáveis respostas adotou-se higroscopicidade, solubilidade, umidade, índice de fluxo, índice de Carr e a Relação de Hausner. Os resultados são apresentados na Tabela 7, a seguir.

Tabela 7 – Resultados do delineamento de mistura do pós da polpa de pitaita para as variáveis higroscopicidade, solubilidade, umidade, índice de fluxo, índice de Carr e relação de Hausner.

Ensaio	Variáveis Reais			Variáveis respostas					
	Maltodextrina %	Goma Arábica%	Dextrina %	Higroscopicidade (%)	Solubilidade (%)	Umidade (%)	I _f	IC (%)	RH
1	100,00	0,00	0,00	6,83 ± 0,75	96,69 ± 0,75	4,28 ± 0,21	4,11	22,61	1,29
2	0,00	100,00	0,00	10,37 ± 0,49	96,63 ± 0,45	3,80 ± 0,12	3,44	39,68	1,66
3	0,00	0,00	100,00	8,91 ± 0,54	91,74 ± 0,33	3,17 ± 0,18	3,54	38,34	1,62
4	50,00	50,00	0,00	6,55 ± 0,39	93,84 ± 0,89	4,78 ± 0,06	4,43	27,06	1,37
5	50,00	0,00	50,00	7,38 ± 0,55	93,69 ± 0,62	3,17 ± 0,12	3,54	43,00	1,75
6	0,00	50,00	50,00	7,83 ± 1,18	93,20 ± 0,53	3,47 ± 0,07	3,86	36,69	1,58
7	33,33	33,33	33,33	6,81 ± 1,24	94,25 ± 0,44	3,99 ± 0,03	3,52	26,83	1,37

If: índice de fluxo; IC: índice de Carr e RH: relação de Hausner

Fonte: A autora (2019).

4.2.1 Avaliação da higroscopicidade

A higroscopicidade dos pós variou de 10,37 a 6,55%, onde a máxima higroscopicidade foi obtida na amostra contendo apenas goma arábica como agente carreador (ensaio 2). As menores higroscopicidades foram observadas nas amostras que continham maltodextrina, indicando que esse agente foi importante na redução da higroscopicidade. Semelhante ao trabalho de Tonon, Brabet, Hubinger (2009), ao estudarem açaí em pó por spray-dryer utilizando diferentes tipos de agentes carreadores, observaram que quanto maior for a quantidade de maltodextrina adicionada, menor será a higroscopicidade dos pós, e que os testes com goma arábica apresentaram maior higroscopicidade entre todos os materiais utilizados. A maltodextrina apresenta este comportamento devido à baixa higroscopicidade do material (Tonon, Brabet, Hubinger 2009). Valor acima deste trabalho foi encontrado por Shaaruddin et al. (2017), estudando pó de suco de pitaiá contendo maltodextrina obtido por spray-drier, com teor higroscópico de 14,12%. Cavalcante et al (2018), em seu estudo com polpa de graviola em pó com 17% de maltodextrina obtido por spray-dryer, obtiveram teor higroscópico de 10,01%. Ribeiro, Costa e Afonso (2016), em estudo com o pó da polpa de acerola liofilizada contendo maltodextrina obtiveram higroscopicidade de 5,96%. Essas diferenças nos teores de higroscopicidade podem ser justificadas pelas características de cada produto, como teor de umidade e de açúcares presentes nos produtos.

A Tabela 8 apresenta os valores correspondentes aos efeitos estimados para o parâmetro de higroscopicidade

Tabela 8 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente higroscopicidade.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	<i>p</i> - valor
Maltodextrina	6,835	0,000898	0,000084*
Goma Arábica	10,37	0,000898	0,000055*
Dextrina	8,907	0,000898	0,000064*
Maltodextrina x Goma Arábica	-8,213	0,004128	0,000320*
Maltodextrina x Dextrina	-2,721	0,004128	0,000966*
Goma Arábica x Dextrina	-7,369	0,004128	0,000357*

* Valores significativos a $p < 0,01$.

Fonte: A autora (2020).

Através da Tabela 8, pode-se observar que todos os efeitos sozinhos e combinados dos três adjuvantes sobre a variável higroscopicidade foram todos significativos a 90%. Porém, os efeitos dos adjuvantes sozinhos foram positivos, indicando que seu aumento influi na diminuição da higroscopicidade, já as interações entre eles não foram. O efeito que teve o menor valor foi com o adjuvante maltodextrina, demonstrando que o seu aumento influi no menor teor da higroscopicidade.

Análise de variância (ANOVA), utilizada para o modelo de regressão obtido para a higroscopicidade final da polpa de pitáia em pó liofilizada (Tabela 9), apresentou coeficiente de variação R^2 de 0,999 significativo ($p < 0,01$), indicando bom ajuste do modelo, explicando a variação de 99,9% encontrada para o modelo testado. Segundo Barros Neto, Scarminio, Bruns (2001), quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 , menor o erro e melhor o ajuste do modelo, assim, o coeficiente encontrado para o modelo nesta pesquisa para higroscopicidade da polpa de pitáia liofilizada, pode ser utilizada para fins preditos. O modelo foi estatisticamente significativo ao nível de 99% de significância em virtude do $F_{calculado}$ ser maior do que o $F_{tabelado}$.

Tabela 9 – Análise de variância para higroscopicidade (%) para a mistura ternária entre polpa de pitáia, maltodextrina, goma arábica e dextrina.

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab (90%, 5,1)}	R² (%)
Regressão	11,96841	5	2,393682	2945983	57,24	99,99
Resíduo	0,0000	1	0,000001			
Total	11,96831	6	1,994735			

Significativo a 90% de confiança ($p < 0,01$)

Fonte: A autora (2020).

O melhor modelo de ajuste aos resultados da higroscopicidade foi o quadrático (Equação 15), onde os coeficientes apresentados foram significativos ($p < 0,01$) e foi possível obter o diagrama ternário para a higroscopicidade (Figura 7).

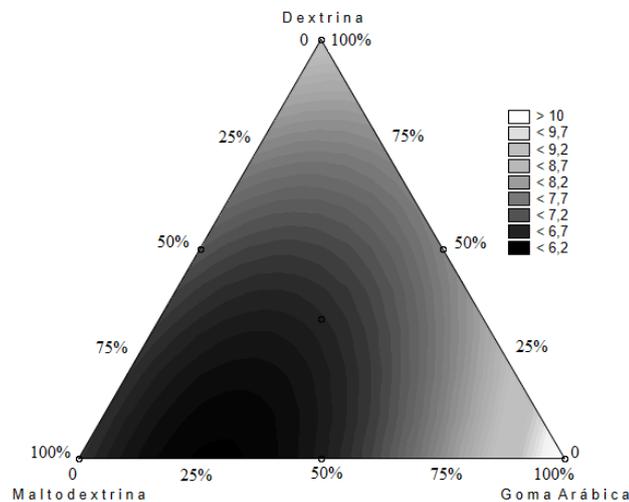
$$H = 6,84E-02x + 1,04E-01y + 8,91E-02z - 8,21E-04xy - 2,72E-04xz - 7,37E-04yz \quad (15)$$

Onde: H: higroscopicidade (%); x: maltodextrina (%); y: goma arábica (%); z: dextrina (%).

De acordo com a Figura 7, observa-se que os menores valores de higroscopicidade são obtidos com o aumento na concentração de maltodextrina, demonstrando ser um agente redutor da higroscopicidade. Comportamento semelhante foi observado por Canuto, Afonso e Costa (2014) no pó de polpa de cajá liofilizada e Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) no pó

liofilizado da polpa de amora, cujo acréscimo da maltodextrina à polpa reduziu a higroscopicidade dos pós. Não há um valor ótimo para higroscopicidade de produtos em pó pois a quantidade de água absorvida não deve comprometer a integridade da qualidade do produto durante o armazenamento, ficando difícil mensurar um valor exato (BHANDARI, PATEL, CHEN, 2008). Embora para Bhandari, Datta, Howes (1997), o pó de pitáia é higroscópico devido à presença de excesso de materiais amorfos como monossacarídeos, pigmentos e microcompostos.

Figura 7 – Diagrama ternário da mistura entre polpa de pitáia, maltodextrina, goma arábica e dextrina, obtida pela equação 15 para higroscopicidade das misturas.



Fonte: A autora (2020).

Observa-se ainda, na Figura 7, que a higroscopicidade aumenta à medida que maiores proporções de goma arábica são adicionadas na mistura. Fernandes, Borges e Botrel (2013), explica que esse fato pode ser atribuído à própria natureza higroscópica da goma arábica.

4.2.2 Avaliação da solubilidade

Os valores de solubilidade dos pós obtidos variou de 91,74 a 96,69% (Tabela 6), com máxima solubilidade obtida na amostra contendo apenas maltodextrina como agente carreador (ensaio 1). As menores solubilidades foram observadas nas amostras que continham dextrina, indicando que a adição desse agente reduz a solubilidade dos pós de pitáia vermelha deste trabalho. Esses valores foram superiores aos encontrados por Santana et al. (2018), com valores experimentais para a solubilidade da polpa de jussara obtida em spray-dryer usando amido modificado, whey protein concentrada e proteína da soja isolada como adjuvantes e

variaram de 77,99% a 92,86% e de 78,87% a 83,78%, respectivamente. Geralmente, as secagens com os usos de maltodextrina e goma arábica mostraram a maior solubilidade e higroscopicidade, provavelmente devido aos seus abundantes resíduos de –OH, o que facilitou sua absorção de umidade dos arredores (TONON et al., 2009). Yousefi; Emam-Djomeh; Mousavi (2011), relataram que a solubilidade foi fortemente afetada pelo tipo de transportador e, em alguns casos, pela concentração do transportador. No entanto, a diferença na solubilidade entre os ensaios foi pequena (Tabela 7) e todos os valores apresentaram ótimos teores de solubilização (>90%). Esse alto valor de solubilidade indica que o pó tem potencial como produto de preparo rápido, como bebidas e sobremesas. A solubilidade do pó está associada ao processo de secagem, aumentando a área superficial do pó, e também pela adição da maltodextrina, que é um agente de revestimento resultando em um produto altamente solúvel (RIBEIRO; COSTA; AFONSO, 2019).

A Tabela 10 apresenta os valores correspondentes aos efeitos estimados para o parâmetro da variável solubilidade, onde observa-se que todos os efeitos dos três adjuvantes sozinhos foram significativos ($p < 0,01$) e os efeitos observados foram positivos, indicando que os três adjuvantes sozinhos influenciam na solubilidade dos pós. Porém os efeitos das interações entre os adjuvantes teve resultado contrário. O efeito que teve o maior valor foi com o adjuvante maltodextrina, demonstrando que o seu aumento influi no aumento da solubilidade.

Tabela 10 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente solubilidade.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	<i>p</i> - valor
Maltodextrina	96,61	0,901857	0,005943*
Goma Arábica	96,55	0,901857	0,005946*
Dextrina	91,66	0,901857	0,006264*
Maltodextrina x Goma Arábica	-9,691	4,145578	0,257336
Maltodextrina x Dextrina	-0,529	4,145578	0,919262
Goma Arábica x Dextrina	-2,362	4,145578	0,670305

* Valores significativos a $p < 0,01$.

Fonte: A autora (2020).

A análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para solubilidade das misturas está descrita na Tabela 11.

Tabela 11 – Análise de variância para solubilidade (%) para a mistura ternaria entre polpa de pitaia, maltodextrina, goma arábica e dextrina.

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab} (90%, 5,1)	R² (%)
Regressão	18,69710	5	3,739419	4,56	57,24	95,80
Resíduo	0,81955	1	0,819555			
Total	19,51665	6	3,252775			

Fonte: A autora (2020).

A análise de variância ANOVA (Tabela 10) para o modelo de regressão da solubilidade do pó da polpa de pitaia vermelha resultou em um R² bom (0,95), porém resultou em um F não significativo ($F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$) e, por isso, não foi gerado o diagrama ternário.

4.2.3 Avaliação da umidade

Os resultados para o teor de umidade dos pós variaram de 3,17 a 4,78% (Tabela 6). Yusof et al. (2012), obtiveram valor de umidade de 5,77% para o pó pitaia seco em estufa e sem o uso de agente carreador. Zea et al (2013) obtiveram umidades de 5,09%, 5,31% e 5,56% para pó de pitaia, pó de goiaba e mistura de pó de pitaia e goiaba, respectivamente, ambos liofilizados com 10% de maltodextrina. Rocha et al. (2014) obtiveram valores de umidade entre 1,36 e 3,35% para pó de suco de caju obtido em secador spray-dryer adicionado de 30% de maltodextrina. Para Aziz et al (2018), as técnicas de secagem empregadas e seus parâmetros operacionais têm a maior influência para o teor de umidade dos pós. Esses autores citam ainda que a presença de açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos influenciam a umidade do pó. A aplicação de um pó de fruta depende do seu teor de umidade, se inferiores a 4% podem ser usados para preparar doces, caramelos e balas (Jaya e Das, 2004). O conteúdo de umidade é uma medida de eficiência de secagem, onde o pó para ser microbiologicamente seguro, deve apresentar umidade inferior a 5%, além disso, influencia na fluidez e na estabilidade do pó armazenamento (Aziz et al., 2018).

Através da Tabela 12, verificou-se os efeitos da variável umidade, onde os três adjuvantes apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) e os efeitos observados foram positivos, o que significa que esses adjuvantes sozinhos tendem a aumentar a umidade do pó. A maltodextrina apresentou o maior efeito, ou seja, os ensaios com maior proporção de maltodextrina resultaram nas maiores umidades (ensaio 1). O oposto foi observado para o adjuvante dextrina.

Tabela 12 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente umidade.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	<i>p</i> - valor
Maltodextrina	4,267	0,149139	0,022242*
Goma Arábica	3,787	0,149139	0,025058*
Dextrina	3,157	0,149139	0,030052*
Maltodextrina x Goma Arábica	2,861	0,685548	0,149743
Maltodextrina x Dextrina	-1,679	0,685548	0,246742
Goma Arábica x Dextrina	0,101	0,685548	0,907236

* Valores significativos a $p < 0,01$.

Fonte: A autora (2020).

A análise de variância (ANOVA) do modelo de regressão gerado para umidade das misturas está descrita na Tabela 13.

Tabela 13 – Análise de variância para umidade (%) para a mistura ternária entre polpa de pitaia, maltodextrina, goma arábica e dextrina.

	SQ	GL	QM	F_{calc}	F_{tab} (90%, 5,1)	R² (%)
Regressão	1,875224	5	0,375045	16,73	57,24	0,9882
Resíduo	0,022412	1	0,022412			
Total	1,897636	6	0,316273			

Fonte: A autora (2020).

A análise de variância ANOVA (Tabela 12) para o modelo de regressão da umidade do pó da polpa de pitaia vermelha resultou em um R² bom (0,98), porém resultou em um F não significativo ($F_{\text{calc}} < F_{\text{tab}}$), e por isso não foi possível gerar o diagrama ternário.

4.2.4 Avaliação do índice de fluxo

Os valores do índice de fluxo dos pós obtidos variou de 3,44 a 4,43% (Tabela 6), com máximo valor obtido na amostra contendo a mistura dos adjuvantes maltodextrina e goma arábica na mesma proporção (ensaio 4). O menor valor do índice de fluxo foi observado na amostra que continham apenas goma arábica (ensaio 2), indicando que a adição do agente maltodextrina aumenta o valor do índice de fluxo dos pós de pitaia vermelha deste trabalho. Conforme a classificação da Tabela 3, os pós de pitaia vermelha dos ensaios estudados possuem fluidez entre coesiva e fácil. Maciel et al. (2020b), encontraram If para pós de goiaba secos em

leito de jorro com 4 e 8% de albumina como agente carreador de 8,00 e 8,68, respectivamente, classificados como pós de fluidez fácil. Resultados próximos ao deste trabalho foi observado por Afonso et al. (2019), com If de 3,19, 4,28 e 4,53 para manga liofilizada contendo 5, 10 e 15% de maltodextrina. Araújo et al. (2020), tiveram resultados de If menores e pós de fluidez muito coesivos e coesivos para polpa de coco liofilizada contendo 0, 5, 10 e 15% de maltodextrina e justificam o índice de fluxo melhorou à medida que aumentou a concentração de adjuvante.

A Tabela 14 apresenta os valores correspondentes aos efeitos estimados para o parâmetro do índice de fluxo e não houve efeitos significativos ($p < 0,05$), e portanto, não foi feito a análise de variância para essa variável.

Tabela 14 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente índice de fluxo.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	<i>p - valor</i>
Maltodextrina (L)	4,145	0,395821	0,060610
Goma Arábica (L)	3,472	0,395821	0,072275
Dextrina (L)	3,570	0,395821	0,070290
Maltodextrina x Goma Arábica	1,951	1,819476	0,477783
Maltodextrina x Dextrina	-1,807	1,819476	0,502179
Goma Arábica x Dextrina	0,793	1,819476	0,738269

Fonte: A autora (2020).

4.2.5 Avaliação do índice de Carr

Os valores do índice de Carr dos ensaios variaram de 22,61 a 43,00% (Tabela 6), sendo que os menores valores foram observados nas amostras contendo maltodextrina. Zea et al (2013), estudando pós liofilizados de pitáia, de goiaba e para a mistura de pó de pitáia e goiaba, ambos com 10% de maltodextrina, observaram IC de 34,87%, 27,19% e 37,29%, respectivamente. Saifullah et al. (2016), obtiveram IC de 20,73% para pitáia em pó obtida por spray-dryer contendo 10% de maltodextrina. De acordo com Liu et al. (2008) e Tze et al. (2012), o formato e o tamanho das partículas têm influência na fluidez do pó e, conseqüentemente, nos valores de IC. O uso de agentes carreadores altera o formato das partículas, podendo melhorar a fluidez do pó.

De acordo com classificação para o escoamento de pós (Tabela 2), o pó com a melhor fluidez é aquele com menor índice de Carr. Sugerido por Carr (1965), o IC é um valor

adimensional que indica a compressibilidade de um material particulado (em pó) e a tendência ao escoamento. Aziz et al, (2018) relatam que IC maiores que 26% indicam muita compressibilidade das partículas, sendo pouco fluidas quando empacotadas e armazenadas. Dentre os ensaios realizados, a amostra contendo somente a maltodextrina como agente carreador (ensaio 1), foi o que apresentou melhor fluidez, sendo classificado como aceitável.

A Tabela 15 apresenta os valores correspondentes aos efeitos estimados para o parâmetro do índice de Carr e não houve efeitos significativos ($p < 0,05$), e portanto, não foi feito a análise de variância para essa variável.

Tabela 15 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente índice de Carr.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	<i>p</i> - valor
Maltodextrina	23,25	7,36155	0,195188
Goma Arábica	40,32	7,36155	0,114958
Dextrina	38,98	7,36155	0,118820
Maltodextrina x Goma Arábica	-29,20	33,83894	0,546724
Maltodextrina x Dextrina	37,24	33,83894	0,469593
Goma Arábica x Dextrina	-22,14	33,83894	0,631110

Fonte: A autora (2020).

4.2.6 Avaliação da Relação de Hausner

Os valores da relação de Hausner (RH) dos ensaios variaram de 1,29 a 1,75 (Tabela 6) e, assim como observado no comportamento do IC, seus menores valores encontram-se nas amostras contendo maior concentração de maltodextrina. Esses valores são próximos aos de Zea et al. (2013), que obtiveram valor de 1,53 para o pó de pitaia liofilizada contendo 10% de maltodextrina. Saifullah et al. (2016), obtiveram valor de 1,26 para o pó da mesma fruta e com mesmo agente carreador obtido em spray-dryer. A relação de Hausner é usada para classificar a coesão do pó, que é uma boa medida da consistência do pó e fluidez (Aziz et al, 2018).

De acordo com a classificação para o escoamento de pós (Tabela 2), os pós com melhor fluidez são aqueles com menores valores de RH. Semelhante ao comportamento do IC, a amostra contendo somente a maltodextrina como agente carreador (ensaio 1), foi o que apresentou o menor valor de RH, sendo classificado como aceitável. Tze et al. (2012), avaliando pós de pitaia obtidos em spray-dryer contendo 20 e 30% de maltodextrina classificaram ambos

como de baixa fluidez e alta coesão. Zea et al (2013) classificaram o pó de pitáia liofilizado e contendo 10% de maltodextrina como de fluidez aceitável e alta coesão. Ainda segundo Aziz et al. (2018), relatam que o tipo de secagem adotado influencia na fluidez e na coesão dos pós, assim como o formato das partículas, podendo assim explicar a variação das classificações de um pó da mesma fruta.

A Tabela 16 apresenta os valores correspondentes aos efeitos estimados para o parâmetro do índice de fluxo e não houve efeitos significativos ($p < 0,05$), e portanto, não foi feito a análise de variância para essa variável.

Tabela 16 – Efeito estimado das variáveis independentes sobre a variável dependente relação de Hausner.

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	<i>p</i> - valor
Maltodextrina	1,304	0,164746	0,079982
Goma Arábica	1,674	0,164746	0,062437
Dextrina	1,634	0,164746	0,063955
Maltodextrina x Goma Arábica	-0,708	0,757291	0,521462
Maltodextrina x Dextrina	0,892	0,757291	0,448075
Goma Arábica x Dextrina	-0,528	0,757291	0,612457

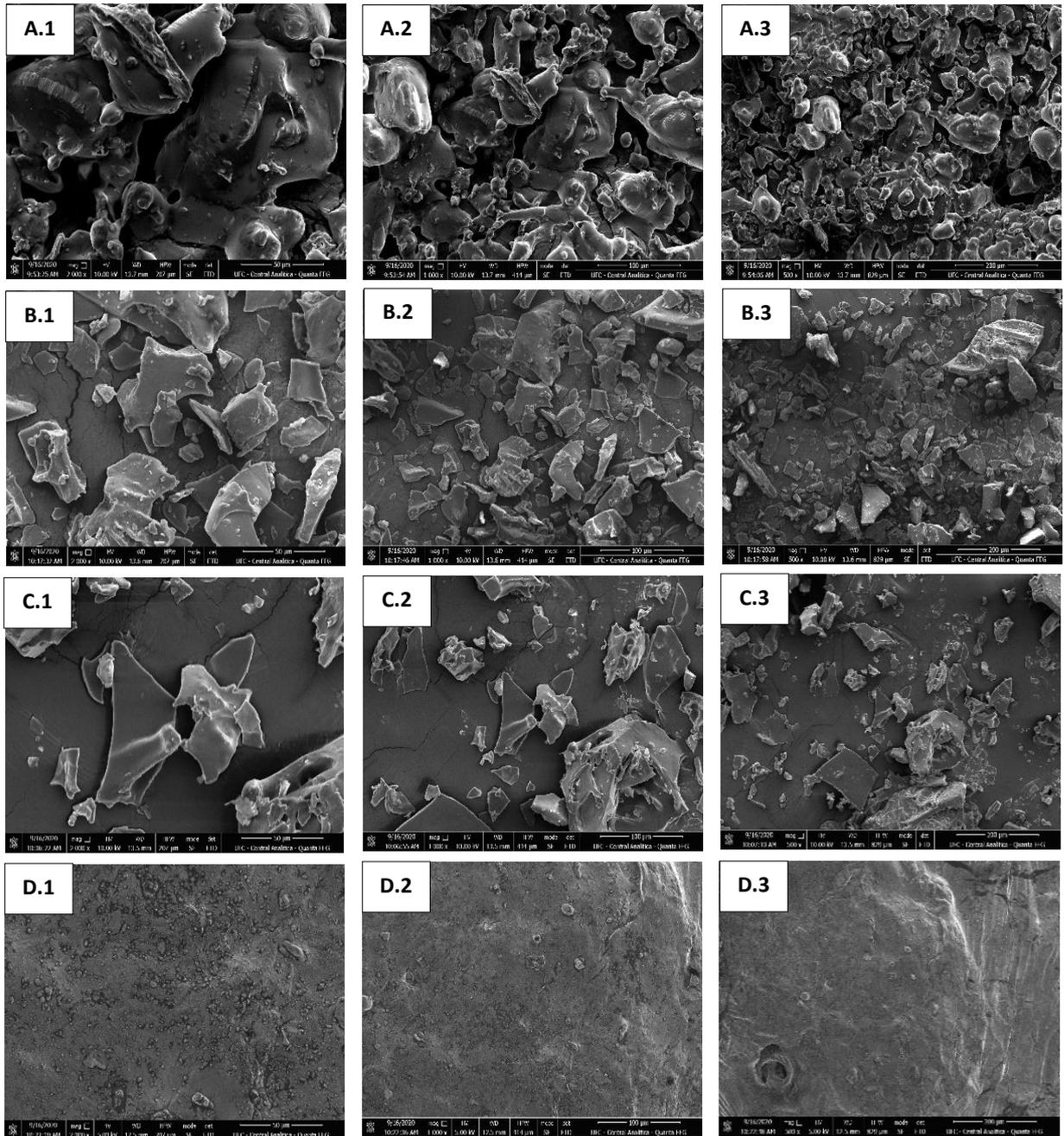
Fonte: A autora (2020).

4.3 Análises físicas dos pós da polpa de pitáia vermelha

4.3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O estudo da microestrutura foi realizado nos pós obtidos por liofilização com os três adjuvantes utilizados neste estudo (maltodextrina, goma arábica e dextrina) e na polpa de pitáia integral liofilizada sem adjuvantes. Pode-se verificar o efeito dos adjuvantes sobre a microestrutura dos pós no processo. As micrografias obtidas pela microscopia eletrônica por varredura (MEV) estão apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Micrografias (2000x, 1000x e 500x) dos pós da polpa de pitaia vermelha liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina (A), goma arábica (B), dextrina (C) e da polpa de pitaia vermelha integral em pó (D).



A.1: pó de pitaia com maltodextrina (2000x); A.2: pó de pitaia com maltodextrina (1000x); A.3: pó de pitaia com maltodextrina (500x); B.1: pó de pitaia com goma arábica (2000x); B.2: pó de pitaia com goma arábica (1000x); B.3: pó de pitaia com goma arábica (500x); C.1: pó de pitaia com dextrina (2000x); C.2: pó de pitaia com dextrina (1000x); C.3: pó de pitaia com dextrina (500x); D.1: pó de pitaia sem adjuvantes (2000x); D.2: pó de pitaia sem adjuvantes (1000x); D.3: pó de pitaia sem adjuvantes (500x);

Fonte: A autora (2020).

A forma é uma propriedade importante para determinar o comportamento das partículas e pode ser usada como um filtro antes da classificação do tamanho (ORTEGA-RIVAS, 2009).

A partir das imagens do MEV, foi observada a importância da adição de agentes transportadores para produzir pós de fluxo melhor. Os pós produzidos com agentes carreadores variaram não apenas no tamanho das partículas, mas também na sua microestrutura. Du et al. (2014), relataram que o pó de caqui liofilizado sem agentes transportadores era em flocos irregulares. Já os resultados obtidos no presente estudo para o pó de pitaita sem adjuvantes (Figura 8D), mostraram-se em forma aglomerada ao ponto de formar uma única partícula.

Ao comparar os pós de pitaita com os três adjuvantes, as partículas de pó adicionado de maltodextrina eram maiores do que as partículas de pó adicionado de goma arábica e dextrina. Os pós adicionados de goma arábica e dextrina tendiam a se tornar mais dispersas. Esta variação pode ser devido à estrutura molecular dos agentes transportadores (maltodextrina e goma arábica), conforme relatado por Fazaeli et al. (2012). Além disso, os pós produzidos com goma arábica e dextrina não obtiveram muita aglomeração como no pó produzido com maltodextrina, fato que pode ser explicado devido a maior temperatura de transição vítrea (T_g) da goma arábica (170 °C) (COLLARES, FINZER, KIECKBUSCH, 2004). Enquanto a T_g da maltodextrina DE 10 é 160 °C (BHANDARI E HOWES, 1999).

Observou-se ainda que o formato mais esférico das amostras com maltodextrina ajudaram no escoamento e fluidez do pó, comprovando o que foi observado nos valores de I_f , IC, e RH dos itens 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.6, respectivamente. Já nas amostras contendo goma arábica e dextrina observou-se que as partículas possuem formas mais retas e com arestas pontiagudas, o que dificulta o deslize entre as partículas e conseqüentemente o escoamento. Partículas de formato irregular resultam em forças de intertravamento aumentadas, portanto, os pós resultaram em baixa fluidez.

As partículas do pó contendo maltodextrina foram maiores, apresentando ligações entre si, resultando em menores espaços vazios. A formação dessas ligações pode ter ocorrido devido ao maior teor de umidade dessa amostra se comparada as amostras contendo goma arábica e dextrina (Tabela 7). Segundo Fitzpatrick et al. (2004), o pó parece menos capaz de fluir quando contém partículas com tamanho pequeno, porque então a superfície por unidade de massa aumenta. Ferrari et al. (2013) observaram que as partículas de pó de amora-preta produzidas com maltodextrina foram maiores do que as partículas obtidas com goma arábica, concordando com o observado neste trabalho. Adiba et al. (2011), relatam que a variação no

tamanho das partículas e na distribuição do tamanho pode ser causada por diferentes composições dos pós e seu conteúdo biológico.

De acordo com a Figura 8, pode-se observar que os pós de pitaia vermelha liofilizados deste trabalho tiveram diferentes formas para os diferentes adjuvantes utilizados e ainda foi possível observar que o pó de pitaia sem o uso de adjuvantes comportou-se completamente diferentes destes, uma vez que na estrutura não apresenta forma esférica e nem particulada, mas como uma única partícula sem formas e tamanhos específicos (Figura 8D). O fato da amostra sem adjuvantes (Figura 8D) não ter um formato exato pode ser explicado pelo não uso de agente carreador, uma vez que os adjuvantes contribuem para a redução do tamanho das partículas e ajuda na eliminação do teor de umidade presente no alimento. Ao contrário dos pós contendo adjuvantes (Figuras 8A, 8B e 8C), a polpa de pitaia em pó sem adjuvantes tem superfície predominantemente rugosa (Figura 8D).

Foi observada a natureza pegajosa do pó de pitaia e a importância da adição de agentes transportadores para produzir pós de fluxo mais livre. Seerangurayar et al. (2017) relataram resultado semelhante para tâmaras em pó sem e com adição de agentes adjuvantes como a maltodextrina e a goma arábica na secagem por liofilização.

Foi possível observar que o processo de liofilização gerou pós completamente amorfo (Figura 8). Tais estruturas são caracterizadas por um estado desordenado em que não há repetição de formas geométricas e presença de faces planas bem estabelecidas, sendo comuns em produtos liofilizados (ALVES et al., 2008). De acordo com Osorio et al. (2010), esferas lisas são desejáveis para a estabilidade dos ingredientes encapsulados e também para a liberação controlada.

Zea et al. (2013), estudando pitaia liofilizada com 10% de maltodextrina observaram que as partículas dos pós eram de forma irregular e estrutura cristalina, e justificou que o formato irregular das partículas do pó deve-se à natureza fibrosa e porosa dos pós de frutas, uma vez que o pó era preparado a partir de frutas inteiras por liofilização. Os pós de frutas inteiras são constituídos por várias substâncias fibrosas hidrofílicas, como fibra, açúcar, proteína e gordura e, portanto, formam partículas complexas e aglomeradas.

Shaaruddin et al. (2017), ao estudarem pitaia em pó por spray-drier com 20% de maltodextrina observaram pós de estrutura granular com formas esféricas irregulares com extensos ‘amassados’ na superfície. Isso foi relatado como típico em transportadores baseados em polissacarídeos (RODRÍGUEZ et al., 2013).

Suravanichnirachorn et al. (2018), mostrou que os pós de maio [*Antidesma bunius* (L.) Spreng] liofilizados tinham estruturas irregulares e vários tamanhos porque as amostras

secas foram triturados no liquidificador. Havia poros impregnados no pó, que ocorreu durante o processo de congelamento como cristais de gelo que foram gerados e posteriormente removidos durante o processo de congelamento (FRANCESCHINIS et al., 2014). Para o pó de pitaia vermelha liofilizada deste trabalho, formou-se uma torta seca e porosa que precisou ser moída mecanicamente para se obter o pó fino.

A Figura 8 mostra que a adição de adjuvantes às formulações reduziu a rugosidade da superfície das partículas quando comparadas a amostra de pitaia liofilizada sem agente carreador. Além disso, Udomkun et al. (2015) observaram que mudanças na estrutura das partículas podem influenciar o comportamento de sorção de água nos materiais.

Nas amostras contendo 20% de goma arábica e 20% de dextrina (Figura 8B e 8C), a aglomeração diminuiu consideravelmente em relação a amostra com 20% de maltodextrina (Figura 8A), permitindo a visualização de partículas irregulares e quebradiças. Os diferentes adjuvantes estudados neste trabalho causaram mudanças no estado de segregação das partículas e nas superfícies, que se tornaram mais lisas, menos esféricas e aglomeradas como a goma arábica e a dextrina. Resultados semelhantes foram relatados por Gurak et al. (2013) para suco de uva liofilizado encapsulado com maltodextrina e goma arábica.

Araújo et al. (2020), ao estudarem polpa de coco liofilizada contendo 15% de maltodextrina, observaram que as amostras apresentavam formas irregulares e/ou superfícies mais lisas e apresentou partículas mais separadas. Afonso et al. (2019), ao liofilizarem polpa de manga com 15% de maltodextrina, observaram que as partículas, em geral, exibiram formas variadas e irregulares, além da presença de poros, que são típicas de produtos liofilizados. Ainda concluíram que as superfícies das partículas eram predominantemente ásperas e com evidência de segregação. O que pode ser observado nas amostras deste trabalho. Esses diferentes resultados do presente trabalho com a literatura se deve em grande parte a quantidade e o tipo de adjuvante utilizado e aos diferentes métodos de processamento, assim como a parte do fruto estudada.

4.3.2 Propriedades de escoamento do pó da polpa de pitaia

Na Tabela 17 estão apresentados os valores encontrados para as densidades aparente (kg/m^3), ângulos de atrito com a parede ($^\circ$) e os índices de fluxo dos pós de polpa de pitaia vermelha obtidos por liofilização contendo 20% de cada adjuvante (maltodextrina, goma arábica e dextrina).

Tabela 17 - Densidade, ângulo de atrito com a parede e índice de fluxo do pós de polpa de pitaiá liofilizada contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma arábica e dextrina.

Amostras	Densidade (kg/m ³)		Ângulo de atrito com a parede φ (°)		Índice de fluxo
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	
	Maltodextrina	469,6	595,1	14,4	
Goma Arábica	351,3	582,4	10,5	10,7	3,44
Dextrina	325,3	527,5	18,1	21,1	3,54

Fonte: A autora (2019).

Na Tabela 17, observa-se que o tipo de adjuvante usado na polpa, gera uma densidade diferente, com aumento na densidade aparente da amostra com maltodextrina.

Com os três tipos de adjuvantes estudados neste trabalho e de acordo com as micrografias obtidas (Figura 8), as partículas ficam menores e menos rugosas com os pós com goma arábica e dextrina, o que gera maior quantidade de ar entre as partículas e o contrário é observado no pó com maltodextrina. Desta forma, justifica-se o aumento da densidade no pó de pitaiá com maltodextrina.

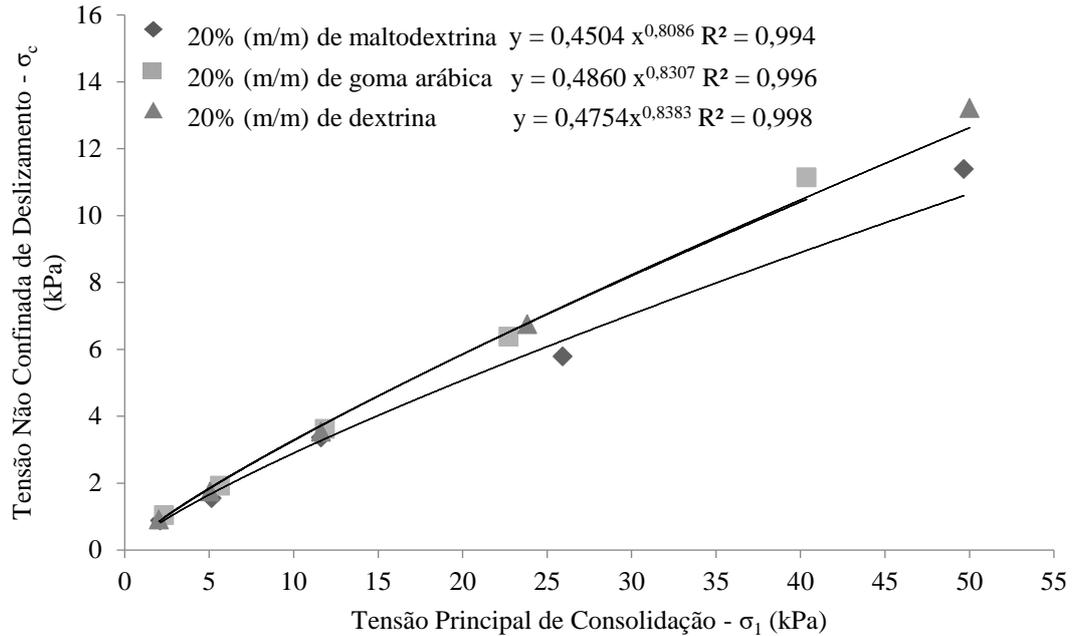
Além disso, as densidades são úteis para prever a qualidade das partículas já que densidades maiores indicam que os pós têm melhores propriedades, como boa fluidez e maior vida útil do produto (SEERANGURAYAR et al., 2017; SHISHIR et al., 2014). A alta densidade aparente é desejável para reduzir os custos de envio e embalagem (BICUDO et al., 2015; KINGWATEE et al., 2015).

Em relação ao ângulo de atrito com a parede (Tabela 17), observou-se que a amostra com goma arábica na formulação resultou em menores valores. Fitzpatrick et al. (2004) afirmaram que o ângulo de atrito com a parede representa a resistência adesiva entre o pó e o material da parede do ambiente de armazenamento e quanto maior, mais difícil para o pó se mover ao longo da parede. Dessa forma, quanto menores os valores desse ângulo, menores são as inclinações que uma parede necessita para assegurar o escoamento dos pós. O atrito entre o pó e uma parede está relacionado com a resistência que a parede exerce sobre o escoamento de um pó (MACIEL et al., 2020a).

A partir da Equação 11 e os valores das tensões (Figura 9), foram determinados os índices de fluidez (I_f) das três amostras dos pós de pitaiá vermelha. Os valores dos índices de fluidez das amostras contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina foram 4,11, 3,44 e 3,54, respectivamente. Afonso et al. (2019) obtiveram comportamento semelhante em seu estudo sobre os pós da polpa de manga, onde os maiores valores de I_f , 4,29

e 4,52, foram encontrados nos pós com maiores concentrações de maltodextrina, 10 e 15%, respectivamente. E Maciel et al. (2020a), com os pós de cupuaçu liofilizado contendo 15 e 25% de maltodextrina foram classificados como de fluxo fácil, com uma ligeira diferença entre eles.

Figura 9 – Tensão principal de consolidação e tensão não confinada de deslizamento para os pós de polpa de pitaita vermelha adicionados de 20% (m/m) dos adjuvantes maltodextrina, goma arábica e dextrina.



Fonte: A autora (2019).

De acordo com a classificação apresentada na Tabela 3, indica tratarem-se de pós de fluxo fácil (maltodextrina) e coesos (goma arábica e dextrina). Por conseguinte, nota-se que os pós com maltodextrina se mostraram diferentes em relação aos outros dois adjuvantes. Fluxo ruim também é relacionado às forças de van der Waals e forças eletrostáticas. As forças de van der Waals são fortalecidas pela umidade adsorvida à medida que as distâncias entre as partículas diminuem com o acréscimo da espessura da camada de umidade. Além disso, as forças eletrostáticas foram diminuídas com o aumento do teor de umidade devido às propriedades condutoras da água (TZE et al, 2012). Outros fatores, como intertravamento mecânico pode desempenhar um papel importante, particularmente em materiais grosseiros, se não forem esféricos (GELDART; ABDULLAH; VERLINDEN, 2009). A fluidez do pó também é explicada em termos de adesão interpartículas ou viscosidade que é afetada pelo alto teor de açúcar presente nos alimentos (BHANDARI e HOWES, 1999).

Segundo Lopes Neto, Silva e Nascimento (2009), para estimar a possibilidade dos sólidos de fluir por gravidade, é necessário determinar o índice de fluxo (I_f), que é uma reta gerada no gráfico (Figura 9) com coordenadas de tensões principais de consolidação e tensões não confinada de deslizamento em que a inclinação define o grau de escoabilidade do sólido, e quanto mais próximo a reta do eixo horizontal, o produto tende a escoar mais facilmente, enquanto uma reta mais próxima do eixo vertical indica uma maior resistência ao escoamento.

Lopes Neto et al. (2007) afirmam que uma compreensão completa deste comportamento é uma tarefa difícil pelo fato de existirem elementos não considerados como conservantes, sais, ácidos, óleos e gorduras, que podem influenciar nas propriedades físicas e de fluxo de produtos alimentícios. Sabe-se que pós alimentícios são complexos e de difícil caracterização em virtude de sua composição variada, da distribuição de partículas e da presença de elementos nas fases sólida, líquida e gasosa.

Percebe-se que os diferentes adjuvantes utilizados influenciou fortemente nos valores de σ_c (Figura 9), apesar da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) ser influenciada pela tensão principal de consolidação (σ_1). Com isso, a diminuição da tensão não confinada de deslizamento é inversamente proporcional ao tipo de adjuvante. Quanto maior o valor da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) de um pó, menor é sua fluidez frente à mesma tensão de consolidação, ou seja, maior a dificuldade de seu escoamento (LOPES NETO et al., 2007).

Em concordância aos resultados obtidos para os índices Carr, a relação de Hausner e o índice de fluidez (subitens 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.6), pode-se observar na Figura 9 que o comportamento dos pós com goma arábica e dextrina se aproximam bastante, enquanto o pó com maltodextrina tende a ficar mais próxima do eixo horizontal (eixo x), explicando o melhor escoamento para essa amostra.

4.3.3 Isotermas de adsorção

Os dados experimentais das isotermas de adsorção da mistura em pó da polpa de pitaia com os adjuvantes maltodextrina, goma arábica e dextrina foram ajustados para os modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin e os parâmetros estimados por cada modelo estão apresentados na Tabela 18.

Os parâmetros dos modelos aplicados aos dados experimentais das isotermas de sorção (coeficiente de determinação- R^2 e desvios médios relativos-E%) foram utilizados como critérios de avaliação para a representação das isotermas.

Os modelos GAB, BET e Oswin mostraram bons ajustes ($R^2 \geq 0,999$), e menores erros relativos. O modelo Henderson não se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais por apresentar erros médios relativos próximo a 10%. Na média, o modelo de equações de GAB apresentou erro de 3,05%, BET de 2,78% e Oswin de 3,73%. Assim, o modelo de BET foi escolhido para representar as isotermas de sorção dos pós de polpa de pitaiá vermelha liofilizada para os três adjuvantes estudados.

Tabela 18 – Parâmetros de ajuste das isotermas de adsorção do pó da polpa de pitaiá contendo 20% (m/m) de maltodextrina, goma arábica e dextrina.

Modelos	Parâmetros	Maltodextrina		Goma Arábica		Dextrina	
		25 °C	40°C	25°C	40°C	25°C	40°C
GAB	X_m	0,0795	0,0924	0,0830	0,123	0,0731	0,0793
	C	2,21	1,89	3,10	1,21	2,52	1,62
	K	0,984	0,961	0,988	0,927	0,971	0,963
	R^2	0,999	0,999	0,999	0,998	0,999	0,999
	E (%)	2,46	3,07	3,01	2,27	3,06	4,45
BET	X_m	0,0722	0,0784	0,0773	0,0890	0,0632	0,0673
	C	2,82	2,47	3,89	1,83	3,69	2,07
	n	39,4	24,2	41,3	19,8	32,1	24,8
	R^2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
	E (%)	3,24	3,64	2,91	1,55	1,72	3,62
Henderson	a	0,636	0,728	0,653	0,720	0,670	0,706
	b	3,12	3,44	2,98	3,28	3,52	3,76
	R^2	0,993	0,995	0,995	0,996	0,992	0,996
	E (%)	11,5	8,02	12,2	6,64	11,0	10,5
Oswin	a	0,106	0,114	0,120	0,120	0,100	0,0923
	b	0,830	0,797	0,809	0,797	0,777	0,824
	R^2	0,999	0,999	0,999	0,997	0,999	0,999
	E (%)	2,82	3,91	3,95	4,49	3,43	3,76

X_m - conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos); R^2 - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C , K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a , b - parâmetros de ajuste.

Fonte: A autora (2020).

O modelo BET tem sido usado por muitos pesquisadores para prever as isotermas de sorção de produtos alimentares. Segundo Timmermann, Chirife e Iglesias (2001), os modelos GAB e BET estão intimamente relacionados, já que o modelo GAB é uma extensão do modelo BET, fazendo com que os valores sejam bem próximos e apenas particularidades do

produto ou do método escolhido acabem por se ajustar a um ou ao outro modelo. Molina et al. (2014), estudando pó de pitáia liofilizada, conclui que os modelos GAB e BET foram ajustados para o pó da polpa da pitáia, entretanto, o modelo BET é o mais recomendado para descrever o balanço das isotermas de sorção, considerando maiores valores de (R^2) e menores valores de erro médio relativo (E%). Ribeiro, Costa e Afonso (2016), em seu estudo do comportamento higroscópico do pó de polpa de acerola liofilizada, mostra que o modelo de BET obteve o melhor ajuste para a adsorção de pó de polpa de acerola obtido por liofilização. Porém Oliveira, Afonso e Costa (2011), obtiveram melhores ajustes dos modelos GAB e Oswin para sapoti liofilizado e Maciel et al. (2020b), ao determinar as isotermas de pós de goiaba seco em secador de espuma tiveram como melhor ajuste o modelo GAB.

De acordo com Jamali et al. (2006), entender as isotermas de sorção de umidade de alimentos é muito importante para a otimização dos processos industriais (por exemplo, secagem, embalagem e armazenamento), além de ser crucial para mudanças na umidade que ocorrem durante a desidratação e para prever a vida útil.

Dependendo da natureza do pó alimentar (cristalino ou amorfo), a forma das isotermas é diferente. A maioria dos pós para alimentos possui estruturas complexas, incluindo solutos potencialmente cristalizáveis, como açúcares, que apresentam alterações na cristalinidade durante a adsorção de água (MATHLOUTHI; ROGÉ, 2003).

Segundo Goula et al. (2008), o teor de umidade na monocamada proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento; abaixo deste valor as taxas de reações de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas. Já o valor de K fornece uma medida de interações entre as moléculas nas multicamadas com o adsorvente, e tende a ficar entre o valor energético das moléculas na monocamada e o da água líquida.

O parâmetro X_m (umidade da monocamada), calculado pelos modelos GAB e BET, corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida a locais específicos na superfície do alimento e é considerado um valor crítico, acima do qual a taxa de algumas reações de degradação aumenta e a estabilidade da matriz alimentar diminui (COMUNIAN et al., 2011). Conforme a Tabela 18, observou-se que houve um leve aumento da umidade na monocamada (X_m) e uma diminuição do valor de C para os três adjuvantes quando a temperatura subiu de 25 a 40 °C, com isso, a temperatura influenciou os teores de umidade de equilíbrio.

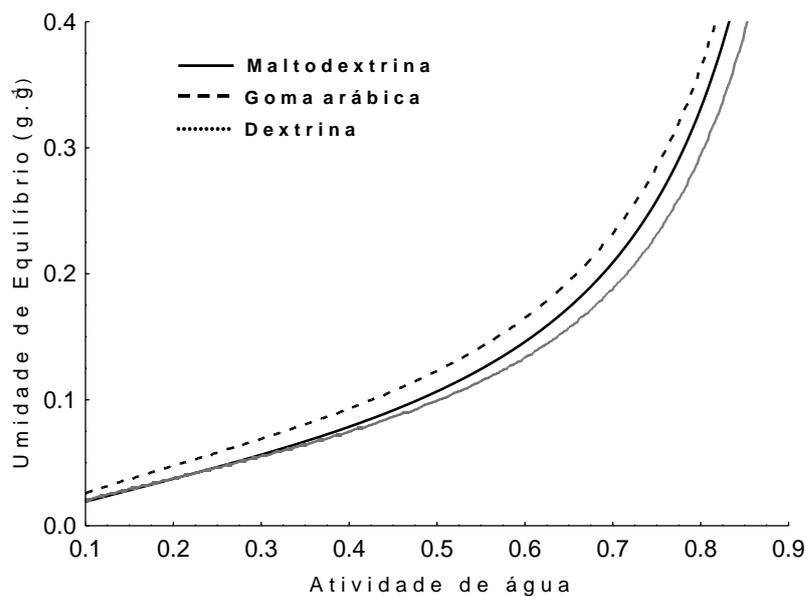
Quanto ao parâmetro K , que segundo Catelam, Trindade e Romero (2011), representa uma medida das interações entre as moléculas da monocamada e o adsorvente, observamos valores inferiores a 1,0. Segundo Alexandre, Figueirêdo e Queiroz (2007), os

valores de K menores que 1,0 são característicos para alimentos, o que indica que a isoterma tende a uma assíntota com atividade de água igual a 1,0.

Todos os parâmetros que mencionamos para os modelos de Oswin e Henderson são os esperados, já que Blahovec (2004), afirma que o modelo de Henderson deve apresentar $a > 0$ e $b \geq 1$ e o modelo de Oswin deve apresentar $a > 0$ e $1 \geq b > 0$. A referência aos parâmetros dentro desses intervalos indica que não há mudanças na concavidade das funções; portanto, esses parâmetros são matemática e fisicamente consistentes (ALCÂNTARA et al. 2009).

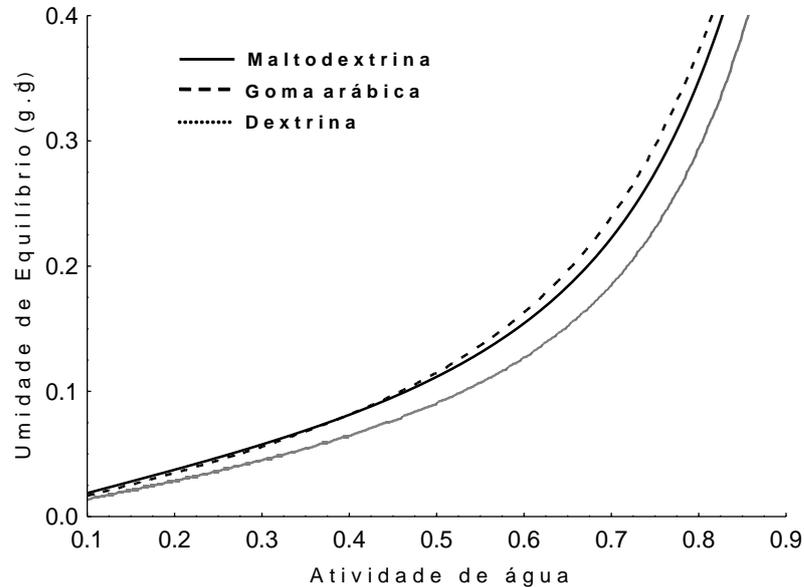
Conforme as figuras 10 e 11, o teor de umidade de equilíbrio da polpa de pitaiia vermelha em pó aumentou exponencialmente com o aumento da atividade de água nas duas temperaturas, seguindo a forma de isotermas que mostram curvas Flory-Huggins, tipo III, formato “J” de acordo com a classificação de Brunauer, Deming e Teller (1940), típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, que ocorrem pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea, o que difere da maioria das isotermas de pós alimentícios. O modelo BET é adequado para representar curvas de sorção do tipo III, observadas em materiais com alto conteúdo de açúcares (RAHMAN, 2008), como pós de frutas (TONON et al., 2009; CAPARINO et al., 2013; CASTOLDI et al., 2015). Esses mesmos tipo e formato de isotermas foi obtido por Ribeiro, Costa e Afonso (2016), em seus estudos com pós de acerola liofilizada.

Figura 10 – Isotermas de sorção a 25°C do pó da polpa de pitaiia liofilizada contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina.



Fonte: A autora (2020).

Figura 11 – Isotermas de sorção a 40°C do pó da polpa de pitaiá liofilizada contendo 20% de maltodextrina, 20% de goma arábica e 20% de dextrina.



Fonte: A autora (2020).

Nas figuras 10 e 11 observam-se as isotermas de sorção do pó da polpa de pitaiá vermelha em função dos três adjuvantes avaliados e nas temperaturas de 25 e 40°C, respectivamente. Observou-se, através destas figuras, que o pó mais estável em relação a absorção de água é aquele contendo dextrina pois em uma mesma atividade de água apresentou menor umidade de equilíbrio, especialmente na faixa com maior atividade de água. Observou-se ainda que o aumento da atividade de água é diretamente proporcional ao aumento da umidade de equilíbrio dos pós.

Em ambas as temperaturas estudadas (25 °C e 40 °C) as isotermas apresentaram-se bem próximas para os pós de pitaiá. No entanto observa-se uma tendência a maior absorção de água quando se tem a goma arábica como adjuvante, principalmente nas atividades de água superiores a 0,5 que representa uma umidade relativa de 50% de um ambiente onde o pó seja exposto. Constata-se ainda, pelas Figuras 10 e 11, que a temperatura não foi um fator de grande alteração da umidade de equilíbrio dos pós, indicando que o comportamento dos pós a 25 e 40°C frente ao ganho de umidade é semelhante.

4.4 Discussão sobre a melhor formulação para a secagem

A partir da análise das seis variáveis respostas estudadas no delineamento de misturas e das análises físicas (MEV, propriedades de escoamento e isothermas), foi possível constatar que o ensaio com 100% de maltodextrina (320 g polpa de pitáia e 80 g maltodextrina) apresentou as melhores condições para obtenção de um produto final com qualidade requerida para produtos em pó. A escolha deste ensaio não foi baseada apenas pela análise isolada de uma das variáveis, mas sim pela união das respostas avaliadas dentro do planejamento de misturas (item 4.2) e pela análise da morfologia e dos parâmetros de escoamento (subitens 4.3.1 e 4.3.2). A escolha se baseou na obtenção de um produto final com baixo valor higroscópico e de umidade, alta solubilidade, além de um pó com melhor fluidez se comparado aos demais.

4.5 Caracterização físico-química do pó da polpa de pitáia vermelha

Amostras de polpa de pitáia contendo da maltodextrina (20% em massa) foram liofilizadas. Os pós foram então submetidos as análises físico-químicas descritas na Tabela 19.

Tabela 19 – Caracterização físico-química da polpa e do pó de pitáia liofilizado contendo 20% (m/m) de maltodextrina.

	Pó de pitáia	Polpa de pitáia
Sólidos solúveis totais (°Brix)	81,70 ± 0,14	11,86 ± 0,52
Acidez total titulável (% ácido málico)	0,16 ± 0,01	0,42 ± 0,04
pH	4,45 ± 0,22	4,78 ± 0,15
Atividade de água (a _w)	0,18 ± 0,01	0,98 ± 0,00
Umidade (%)	3,17 ± 0,14	85,40 ± 1,42
COR	L*	50,26 ± 0,28
	a*	11,24 ± 0,32
	b*	-1,69 ± 0,06
	C*	11,37 ± 0,33
	H°	351,47° ± 0,05
Ácido ascórbico (mg/100 g sólidos secos)	341,43 ± 2,21	733,01 ± 8,01
Açúcar redutor (%)	40,07 ± 0,80	19,04 ± 2,44
Açúcar total (%)	54,47 ± 2,33	19,14 ± 0,70
Fenólicos (mg EAG/100 g sólidos secos)	186,83 ± 4,10	761,44 ± 104,04
Betalainas (mg/100 g sólidos secos)	25,83 ± 1,81	78,28 ± 13,29

L*, a*, b*, C* e H° (parâmetros de cor – Escala CIELab), sendo L* (luminosidade), a* (cromaticidade vermelho e verde); b* (cromaticidade amarelo e azul), C (chroma) e H (ângulo Hue).

Fonte: A autora (2020).

De acordo com a Tabela 19, o resultado de sólidos solúveis totais (SST) do pó de pitaia foi superior ao de Oliveira; Afonso e Costa (2011), que estudando sapoti liofilizado sem o uso de agente carreador obtiveram SST de 65,50 °Brix. Tal diferença de resultado deve-se ao fato do uso do agente carreador neste trabalho. De acordo com Abadio et al. (2004) e Quek; Chok; Swedlund (2007), a utilização de maltodextrina como coadjuvante de secagem promove um aumento no teor de sólidos totais. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o teor de sólidos solúveis é usado como medida indireta do teor de açúcares, pois à medida que os teores de açúcares vão se acumulando na fruta, os teores sólidos solúveis totais aumentam.

O resultado de acidez total titulável (ATT) do pó de pitaia ficou abaixo dos valores encontrados por Oliveira, Afonso e Costa (2011), ao estudarem sapoti liofilizado sem o uso de agente carreador, com o valor médio de 0,25% e Cavalcante et al. (2017), que ao estudarem graviola obtida por spray dryer com 17% de maltodextrina, encontraram 2,65% de ATT. Essas diferenças nesse parâmetro pode ser explicada devido aos diversos tipos de frutas da literatura.

Para a análise de pH, o resultado encontrado neste trabalho foi maior ao de Cavalcante et al. (2017), que ao estudarem graviola obtida por spray dryer com 17% de maltodextrina, encontraram pH de 3,67. Já os estudos de Suravanichnirachorn et al. (2018), que obtiveram pH de 4,03 com maio em pó por liofilizado com 25% de maltodextrina, e Maciel et al. (2020a), que obtiveram pH de 4,25, com o estudo de polpa de cupuaçu liofilizada com 15% de maltodextrina, valores esses próximo ao deste estudo. Diferenças entre frutos e estádios de maturação, tipo de solo e clima afetam os valores de pH.

Para o resultado de atividade de água (Aw), o pó de pitaia vermelha estudado nesse trabalho obteve uma atividade de água baixa quando comparado a atividade de água da polpa de pitaia vermelha, uma vez que o processo de secagem vem justamente para retirar a água presente nos alimentos, aumentando a vida de prateleira e ainda diminuindo a água livre disponível para as reações químicas e o crescimento de microorganismos. Resultados acima foram encontrados por Yusof et al. (2012), que estudando pitaia seca em estufa a 70 °C sem o uso de material carreador, obtiveram Aw de 0,449 e por Suravanichnirachorn et al. (2018), que estudando maio em pó por liofilização com 25% de maltodextrina, obtiveram uma Aw de 0,353. Já Cavalcante et al. (2017), obtiveram valor de Aw menor (0,150) ao estudarem graviola em pó submetida a secagem em spray dryer com 17% de maltodextrina. A diferença de valores encontrado neste trabalho e na literatura pode ser explicada devido aos diferentes processos de

secagem utilizados, o agente carreador utilizado e sua quantidade, bem como os valores de A_w inicial do próprio fruto.

Os resultados do teor de umidade do pó de pitáia deste trabalho ficou próximo ao encontrado por Saifullah et al. (2016), que trabalhando com pó de pitáia em spray drier com maltodextrina a 10% como agente carreador, obtiveram 3,60% de umidade. Resultados acima foram encontrados por Yusof et al. (2012), que trabalharam com pitáia seca em estufa sem adjuvante, e obtiveram 5,77% de umidade e Zea et al. (2013), estudando *blend* de pitáia e goiaba liofilizada com o uso de 10% de maltodextrina, obtiveram 5,09% de umidade. Suravanichnirachorn et al. (2018), que estudando maço em pó liofilizado com 25% de maltodextrina, obtiveram teor de umidade de 5,85%. Tze et al. (2012), que estudaram pitáia atomizada com maltodextrina 20%, obtiveram umidade de 4,07%. Shaaruddin et al. (2017), obtiveram valor abaixo ao encontrado neste trabalho, onde estudando o pó de pitáia atomizado com o uso de maltodextrina, encontraram valor de umidade de 2,28% e Ferrari et al. (2012), estudando amora-preta submetida a secagem por spray drier com 7% de maltodextrina, encontraram valor de umidade de 1,74%. A diferença de valores encontrado neste trabalho e na literatura pode ser explicada devido aos diferentes processos de secagem utilizados, o agentes carreadores utilizados e sua quantidade, o tamanho/corte (superfície de contato) do fruto a ser desidratado, bem como os valores de umidade inicial do próprio fruto.

Quanto à coloração do pó de pitáia vermelha (Tabela 19) e, de acordo com a escala CIELab, a coordenada a^* e b^* indicaram que os valores tendem para o vermelho e azul, respectivamente. Resultado superior para a^* (41,70) e valor de b^* positivo (3,90) tendendo ao amarelo foi encontrado por Yusof et al. (2012) ao estudar pitáia vermelha seca em estufa a 70 °C. Essas diferenças ocorrem por causa dos diferentes processos e temperaturas de secagem empregados, assim como as diferenças de região, solo e clima do fruto estudado.

Quanto à luminosidade do pó (L^*), foi possível observar que o uso de maltodextrina deixou o pó mais claro em relação a polpa integral, embora ainda possuísse coloração roxa/púrpura clara e atraente. O resultado ainda indicou que o pó de pitáia vermelha desse estudo apresentou maior brilho e cor mais clara (L^* = próximo a cem). Maciel et al. (2020a) relata que o aumento do parâmetro L^* é devido ao uso do agente carreador (a maltodextrina tende ao branco), que diluiu os pigmentos da amostra tornando-a mais clara. Tze et al. (2012) também relatou que o uso de maltodextrina resultou em um pó de coloração mais clara do que a observada para a polpa de pitáia. Yusof et al. (2012), estudando pitáia vermelha seca em estufa a 70°C sem o uso de adjuvante, obteve valor de L^* de 27,7, valor abaixo do encontrado nesse trabalho. Isso ocorreu possivelmente devido o uso de adjuvante e a temperatura empregada na

secagem. Yusof et al. (2012) explica que à medida que a pitaiá fica mais escura (L^* menor) e mais vermelha (a^* positivo), algumas alterações químicas indesejáveis podem ter ocorrer no pó, por exemplo, escurecimento, e postulou-se que isso pode ser devido ao alto teor de açúcar na fruta. Já valores próximos foi encontrado por Shaaruddin et al. (2017), com L^* de 56,81, com o pó de pitaiá vermelha obtido por spray dryer e maltodextrina.

A saturação/cromaticidade (C^*) está ligada diretamente à concentração do elemento corante e representa um tributo quantitativo para intensidade. Quanto maior o croma maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos. Cores neutras possuem baixa saturação, enquanto cores puras possuem alta saturação e, portanto, mais brilhantes na percepção humana (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013; SHEWFELT; THAI; DAVIS, 1988). Conforme a tabela 18 e o citado acima, o valor de C^* desse estudo possui baixa saturação, conferindo cor neutra ao pó de pitaiá. Ferrari et al. (2012), estudando amora-preta atomizada com 7% de maltodextrina, obteve cromaticidade (22,99) maior ao desse trabalho, assim como o trabalho de Shaaruddin et al. (2017), com pó de pitaiá vermelha obtida por spray dryer com maltodextrina, que encontraram valor de cromaticidade de 44,28. Isso se deve aos diferentes frutos comparados, tipo de secagem e concentração do adjuvante usado. Já o parâmetro H° (Tabela 18), mostra que o pó de pitaiá vermelha desse estudo tendeu para o azul (ângulos acima de 270°) e mostrou-se próximo ao encontrado por Shaaruddin et al. (2017), com pó de pitaiá vermelha obtida por spray dryer com maltodextrina, que obtiveram valor de H° de 343,34.

Para o valor de ácido ascórbico (AA), observou-se que o processo de liofilização da polpa de pitaiá vermelha com o uso de maltodextrina a 20% apresentou uma diminuição de 53,4% do teor de vitamina C em relação a polpa integral. A própria adição de 20% em massa do adjuvante representa uma diminuição da concentração dos compostos da polpa. O resultado de AA encontrado nesse estudo foi superior ao de Cavalcante et al. (2017), que obtiveram 103,37 mg/100 g de ácido ascórbico, ao estudar graviola em pó submetida a secagem em spray dryer com 17% de maltodextrina. A diferença nos teores de AA, segundo Choudhury (2001), pode ser explicada por vários fatores, tais como, o cultivar e espécie dos frutos, época do ano, local de plantio e ainda ao estágio de maturação. O ácido ascórbico é um antioxidante natural sensível ao calor e à degradação na presença de luz e oxigênio devido a condições adversas de manuseio, processamento e armazenamento. Tais fatores podem também explicar a redução de AA do pó em relação a polpa. A oxidação do ácido ascórbico, além de reduzir ou eliminar a atividade da vitamina, resulta em sabores indesejáveis no produto (OLIVEIRA et al., 2013a).

Os resultados de açúcar redutor e açúcar total, de acordo com a tabela 19, ficou próximo ao de Oliveira, Afonso e Costa (2011), que estudando sapoti em pó liofilizado sem o

uso de adjuvantes, encontraram teor de açúcar redutor e total de 36,09% e 51,99%, respectivamente. E ao observado por Maciel et al. (2020a), que estudando polpa de cupuaçu liofilizada com 15% e 25% de maltodextrina, obtiveram valor médio de açúcar redutor e açúcar total de 39,82% e 53,95%, 38,95% e 60,18% , respectivamente. Ainda é possível observar que a adição do adjuvante na polpa e a retirada de água pelo o processo de secagem, concentrou e aumentou os valores de açúcares redutores e totais.

Com relação aos compostos fenólicos do pó, observou-se uma redução de 75,46% em relação à polpa integral, o que pode ser explicado pela adição de 20% (m/m) da maltodextrina na polpa e também pela oxidação destes compostos durante o manuseio do pó. Os teores de compostos fenólicos totais encontrados neste estudo foram superiores aos de Reyes-Álvarez e Lanari (2020), que obtiveram valor de 99,16 mg ácido gálico/g no estudo de arazá liofilizado contendo 5% de maltodextrina.

O teor de betalaínas (25,83 mg/100g) do pó de pitáia vermelha deste estudo apresentou uma diminuição comparado à polpa (78,28 mg/100g), uma redução de 67%. A redução ocorreu, possivelmente e da mesma forma que para os compostos fenólicos, devido a adição do adjuvante a polpa e processos oxidativos durante o manuseio do pó. As betalaínas são importantes para caracterizar a cor de algumas frutas. Tze et al. (2012), relataram que o valor do parâmetro L* diminuiu com o aumento do conteúdo de betacianina no pó de pitáia vermelha contendo 20% de maltodextrina. Na Tabela 19 observa-se que a polpa integral, contendo maior teor de betalaínas, apresentou menor valor de L*.

4.6 Estudo da estabilidade do pó

As amostras em pó contendo maltodextrina (20% em massa) foram seladas a vácuo em embalagens laminadas compostas de PET, alumínio e poliamida até início das análises armazenadas em temperatura ambiente ($28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), sendo analisados a cada 15 dias durante o período de 60 dias de armazenamento. As amostras permaneceram na forma de pó, mantendo-se com a mesma textura, permitindo a realização das análises que constituíram a caracterização da estabilidade do pó. A seguir estão apresentados os resultados das análises físico-químicas do pó de pitáia vermelha durante o período de armazenamento.

Os valores médios com os respectivos desvios-padrão das análises de estabilidade nos dias de armazenamento do pó estão descritos na Tabela 20.

Tabela 20 – Caracterização do pó da pitiaia vermelha obtido por liofilização durante 60 dias de armazenamento.

Tempo de armazenamento (dias)	Higroscopicidade (%)¹	Solubilidade (%)¹	Umidade (%)	Grau de Caking (%)¹	pH	ATT (%)	Betalainas (mg/100g)	Fenólicos (mg EAG/ 100g)
0	8,05 ± 0,59 ^b	92,40 ± 0,42 ^d	3,11 ± 0,04 ^a	76,15 ± 0,87 ^a	5,06 ± 0,09 ^b	1,47 ± 0,03 ^a	25,80 ± 0,45 ^a	210,08 ± 18,25 ^a
15	7,81 ± 0,36 ^c	93,30 ± 0,57 ^c	3,08 ± 0,11 ^a	70,00 ± 3,53 ^b	5,11 ± 0,05 ^a	1,51 ± 0,02 ^a	24,70 ± 0,89 ^a	212,40 ± 12,51 ^a
30	9,98 ± 0,89 ^a	93,70 ± 0,04 ^b	3,01 ± 0,09 ^a	65,20 ± 7,00 ^c	4,93 ± 0,00 ^d	1,46 ± 0,04 ^a	21,90 ± 0,37 ^b	104,90 ± 8,44 ^c
45	9,34 ± 1,07 ^b	94,70 ± 0,07 ^a	2,90 ± 0,11 ^a	77,00 ± 1,00 ^a	4,96 ± 0,00 ^c	1,55 ± 0,10 ^a	22,84 ± 0,70 ^b	160,31 ± 6,34 ^b
60	8,83 ± 0,51 ^b	93,97 ± 0,82 ^b	3,94 ± 0,21 ^a	77,01 ± 3,20 ^a	4,90 ± 0,01 ^d	1,46 ± 0,04 ^a	21,70 ± 0,35 ^b	156,31 ± 2,46 ^b

ATT: acidez total titulável. ¹Valores expressos em base seca.

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, em 5% de significância.

Fonte: A autora (2020).

4.6.1 Higroscopicidade

Verificou-se que para esse parâmetro não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre o primeiro e o último dia de armazenamento, desta forma, assumiu-se que a higroscopicidade não sofreu influência durante o período de armazenamento observado. Nota-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) somente entre os dias 15 e 30, diferença essa que pode estar associada aos erros de análises no experimento, porque este aumento não foi observado novamente durante a estabilidade. Apesar disso, o pó da polpa de pitaiá vermelha ainda demonstrou ser um produto de baixa higroscopicidade ($< 10\%$) segundo a Tabela 5, não havendo sinal de aglomeração até o período de 60 dias, comum em pós de fruta armazenados por muito tempo. Os valores de higroscopicidade (Tabela 20) foram iguais aos obtidos por Karaaslan e Dalgıç (2012), que ao estudar o extrato de alcaçuz em pó pulverizado e utilizando a maltodextrina (20%) como agente carreador, obtiveram teor de $82\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ (base seca). Molina et al. (2014), em seu estudo de polpa de pitaiá liofilizada com 17% de maltodextrina, observaram resultados diferentes ao desse estudo, com aumento do valor da higroscopicidade no decorrer do armazenamento. Costa et al. (2019), relataram resultados levemente inferiores ao estudar a estabilidade da polpa de manga liofilizada com adição de 20% de maltodextrina. No entanto, a diferença de resultados pode ser atribuída ao tipo de fruto estudado, a técnica de secagem empregada e ainda ao preparo das amostras para a secagem, uma vez que este trabalho não fez o uso de separação/filtração para retirada de sementes da polpa e o estudo com a manga sim.

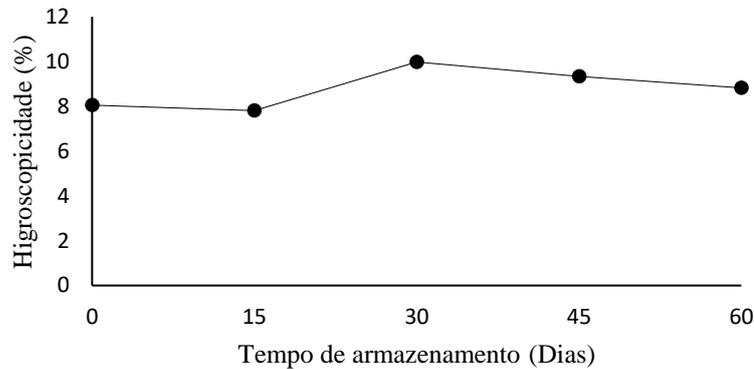
Molina et al. (2014), também explica que as diferenças entre os trabalhos podem ser atribuídas à concentração de maltodextrina (17 e 20%), visto que a maltodextrina é um material de baixa higroscopicidade. Esses resultados foram consistentes com a declaração.

As formas cristalinas e amorfas do mesmo material em pó mostram diferenças no tamanho de partícula, formato de partícula, densidade aparente, propriedades físico-químicas, estabilidade química, solubilidade em água, higroscopicidade, propriedades de fluxo e compatibilidade (TZE et al., 2012). A adição de agentes transportadores na solução de alimentação influencia as propriedades e a estabilidade do pó (YOUSEFI; EMAM-DJOMEH & MOUSAVI, 2011).

Observa-se na Figura 12 que a higroscopicidade do pó da polpa de pitaiá durante o período de armazenamento mostrou-se levemente decrescente até o dia 15 e em seguida há um acréscimo no dia 30, mantendo-se levemente estável até o ponto final. Essa oscilação nos

resultados da análise de higroscopicidade ao longo do período, é justificada possivelmente por sofrer interferências do ambiente no qual é feito a análise.

Figura 12 – Comportamento do teor de higroscopicidade do pó de pitaiá liofilizado durante o armazenamento.



Fonte: A autora (2020).

Costa, Medeiros e Mata (2003) relataram que variações no comportamento higroscópico dos pós de alimentos também se dão com a granulação, pois produtos com partículas finas possuem uma superfície de contato mais ampla e, como consequência, um maior número de sítios ativos.

4.6.2 Umidade

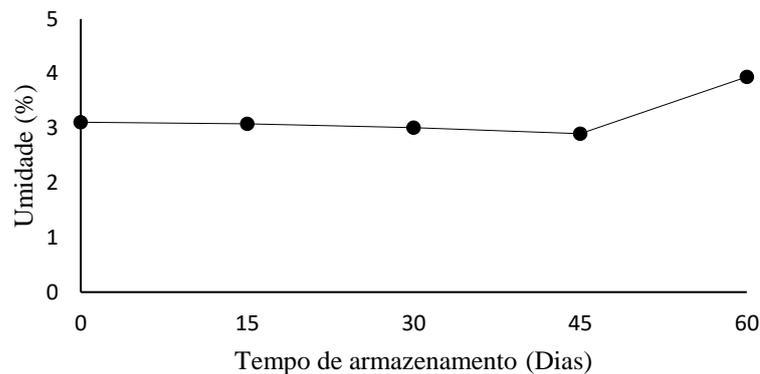
O teor de umidade é uma propriedade essencial para determinar a estabilidade e o armazenamento do pó (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014).

Na Tabela 20, pode-se observar que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) nos teores de umidade no decorrer dos dias de armazenamento. Por causa do pó ter sido armazenado em embalagem laminada e à vácuo não houve variação, embora Lima et al. (2019) ressalte que mesmo a embalagem laminada apresentando baixa permeabilidade e ser recomendada para uso em alimentos desidratados, é possível ocorrer variações na eficiência da soldagem. Costa et al. (2019), relataram resultados levemente superiores ao estudar a estabilidade da polpa de manga liofilizada com adição de 20% de maltodextrina. Isso pode ser devido, possivelmente, ao menor conteúdo de sólidos presente na polpa desse autor, que peneiraram a amostra ou ainda devida as diferentes espécies de frutas estudadas e comparadas. Oliveira et al. (2013b), estudando a estabilidade da polpa de morango pulverizada utilizando diferentes agentes carreadores durante 90 dias, obtiveram acréscimo do teor de umidade ao comparar o dia inicial e o dia 90. As altas

temperaturas usada no processo de secagem por spray-dryer facilitam a retirada de maior teor de água do alimento se comparado à secagem por liofilização.

Na Figura 13, pode-se observar o comportamento da umidade frente ao armazenamento, onde nota-se uma pequena estabilidade no dia 0 até o dia 45, aumentando no ponto final. Embora, ainda possuem baixo teor de umidade, necessário para a manter o armazenamento viável e não ocorrer reações microbiológicas e químicas.

Figura 13 – Comportamento do teor de umidade do pó de pitáia liofilizado durante o armazenamento.



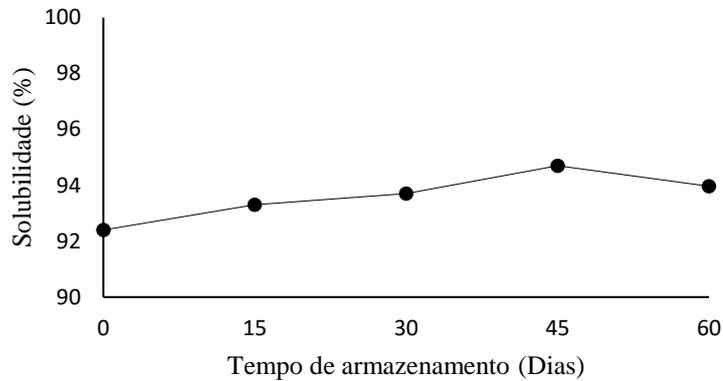
Fonte: A autora (2020).

4.6.3 Solubilidade

Nos teores de solubilidade (Tabela 20) há um acréscimo no decorrer dos dias de armazenamento do pó de pitáia até o dia 45. Sousa et al. (2016), em seu estudo da estabilidade de suco de caju em pó desidratado em leite de jorro, obteve um decréscimo entre o ponto inicial e final no armazenamento com embalagem laminada ao longo dos 60 dias avaliados, com teores de solubilidade acima de 90%, iguais ao do presente estudo. Gagneten et al. (2019) também encontraram valores acima de 90% em seu estudo com pós de framboesa, groselha preta e sabugueiro secas por pulverização, justificando ser valores altos de solubilidade.

A solubilidade está relacionada a interação entre as substâncias químicas e trata-se de um termo quantitativo para expressar a solubilização de um soluto no solvente que é a substância que a dissolve (MARTINS, LOPES e ANDRADE, 2013, p. 1248). Cano-Chauca et al. (2005), citam que sólidos amorfos têm alta solubilidade em comparação com o estado cristalino. Na Figura 14, pode-se observar um comportamento crescente até o ponto 45 dias, e logo após um decréscimo no ponto final.

Figura 14 – Comportamento do teor de solubilidade do pó de pitaita liofilizado durante o armazenamento.



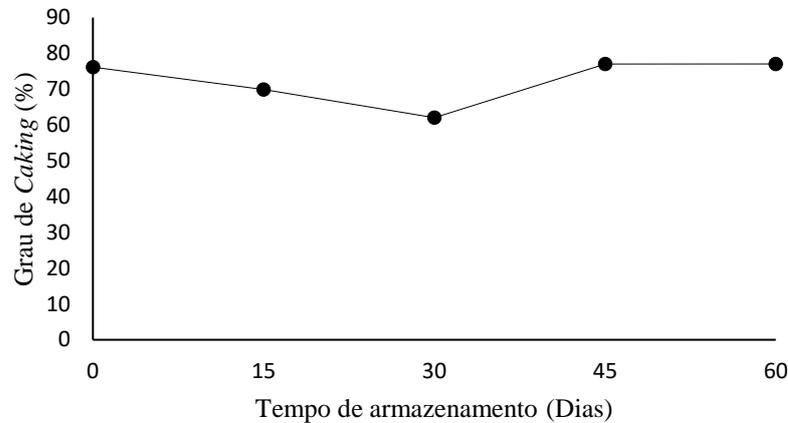
Fonte: A autora (2020).

4.6.4 Grau de Caking

Os valores médios com os respectivos desvios-padrão dos teores de grau de *Caking* nos dias de armazenamento do pó estão descritos na Tabela 20, e nela nota-se que os dias 0, 45 e 60 não diferiram significativamente ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Goula e Adamopoulos (2010), relatam que, por tratar-se de um pó de fruta, os valores do grau de *caking* tende a ser maior devido a sua composição de açúcares de baixo peso molecular que contribuem para a redução da temperatura de transição vítrea que favorecem os processos de aglomeração dos pós. Afirmam ainda que o efeito das variáveis do processo sobre a aglomeração em alimentos ricos em açúcar pode ser dado à absorção de umidade e à concentração de maltodextrina. Além disso, a diminuição dos valores de dextrose equivalente (DE) da maltodextrina leva a uma taxa de higroscopicidade mais baixa e, como consequência, a um grau de aglomeração mais baixo. Observação válida ao deste trabalho, uma vez que trabalhou com a máxima dextrose equivalente (DE 20 de maltodextrina).

Na Figura 15, é possível observar os valores do grau de *Caking* para o estudo do pó de pitaita durante 60 dias de armazenamento. Há redução dos valores nos dias 15 e 30, com posterior aumento nos dias 45 e 60. Esses valores não estão de acordo com o desejado para alimentos em pó (5,0% a 34,0%) conforme citam Jaya e Das (2004). Molina et al. (2014), apresentaram resultados crescentes e decrescentes, oscilando durante o período de 120 dias de armazenamento, ao analisarem polpa de pitaita liofilizada com 17% de maltodextrina (DE 20).

Figura 15 – Comportamento do teor do grau de *Caking* do pó de pitaia liofilizado durante o armazenamento.



Fonte: A autora (2020).

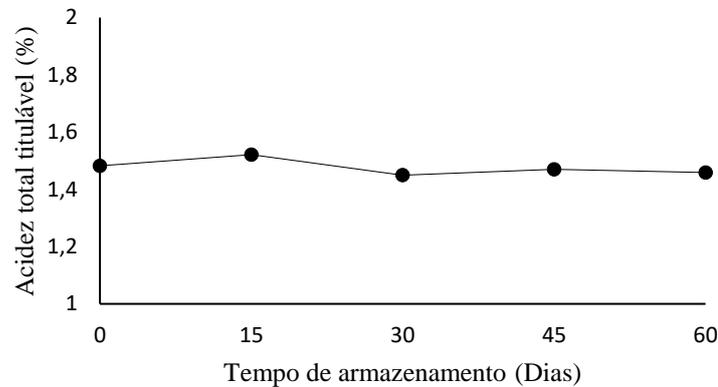
A variação nos dias 15 e 30 dos valores obtidos para o grau de *caking* dos pós de pitaia pode ser justificada por Sousa et al. (2016), que relataram estar atribuída as dificuldades da metodologia empregada para analisar, principalmente durante a transferência do pó para a peneira granulométrica, devido ao alto grau de caramelização após a estufa. Vale ressaltar ainda que os resultados do grau de *caking* está de acordo com os resultados de higroscopicidade, onde os valores são inversamente proporcionais.

4.6.5 Acidez total titulável

Os teores de acidez total titulável nos dias de armazenamento dos pós de pitaia vermelha estão descritos na Tabela 20, onde não foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre o valores no decorrer dos dias de armazenagem.

Esta estabilização da acidez total titulável foi observada por Rocha (2013), em estudo de pó de manga obtido por *spray-dryer*, indicando que os ácidos orgânicos presentes não sofreram oxidações com o decorrer do tempo de armazenamento. Na Figura 16 pode-se observar que o comportamento do teor de acidez total titulável sofreu pequenas oscilações que podem ser devido a própria análise.

Figura 16 – Comportamento do teor de acidez total titulável dos pós de pitaita liofilizado durante o armazenamento.



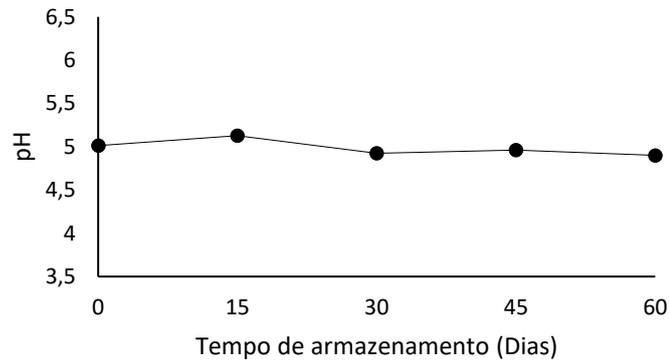
Fonte: A autora (2020).

4.6.6 pH

Os valores de pH (Tabela 20), tiveram diferença significativa ($p < 0,05$) nos dias 0, 15 e 45. Com valores variando entre 4,90 e 5,11, no limite que, segundo Breda et al. (2012), na faixa de pH de 5-7, favorece o escurecimento enzimático na maioria das plantas. Conegero et al. (2017), avaliando a estabilidade de mangaba liofilizada com 30% de maltodextrina, encontraram valores de pH menores ao deste trabalho. Por se tratar do mesmo tipo de secagem, as diferenças nos resultados podem ser devido ao tipo de fruta/polpa estudadas e a porcentagem de adjuvante usado.

Na Figura 17, pode-se observar o comportamento do pH frente ao armazenamento, onde ocorre leve diminuição dos valores ao longo do período. Apesar disso, mesmo com essa diminuição, esse valor é prejudicial ao produto, pois de acordo com Gava (2008), pH maior que 4,0 favorece o crescimento microbiano. O pH é um dos fatores que interferem na velocidade das alterações microbiológicas, a maioria dos microorganismos cresce na faixa de pH entre 5 e 8, porém microorganismos como bolores e leveduras podem crescer em alimentos com uma faixa de pH mais baixa, aliado a uma umidade mais alta (AZEREDO, 2004).

Figura 17 – Comportamento do pH dos pós de pitaia liofilizado durante o armazenamento.



Fonte: A autora (2020).

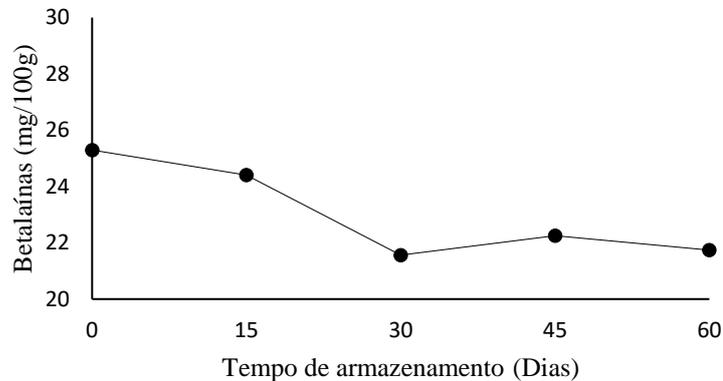
4.6.7 Betalaínas

Os valores médios com os respectivos desvios-padrão do teor de betalaína nos dias de armazenamento do pó de pitaia vermelha estão descritos anteriormente na Tabela 20 onde foi notado um decaimento ao longo dos dias. Os dias 0 e 15 não diferiram significativamente ($p < 0,05$) entre si, mas ambos diferiram dos dias 30, 45 e 60.

A estabilidade da betanina depende diretamente de seu pH, que varia de 3 a 7, sendo o pH ótimo entre 4 e 5. É instável na presença de luz e oxigênio e se degrada quando submetido a altas temperaturas (HUANG & VON ELBE, 1987). Attoe & Von Elbe (1982), relataram que sua estabilidade é afetada durante o processamento e armazenamento. Uma maneira de melhorar a estabilidade dos corantes naturais é o processo de encapsulamento, que cria uma barreira entre o material do núcleo e o ambiente. Essa barreira é formada pelo material de suporte (agente encapsulante/adjuvante) que protege o material encapsulado, tornando o produto final mais estável (JANISZEWSKA, 2014). Informações que justificam a queda dos valores nesse trabalhos, uma vez que, mesmo com o uso de embalagem laminada e à vácuo, é passível de alterações durante o período de armazenamento principalmente se a embalagem não for bem selada.

De acordo com a Figura 18, há uma tendência de queda na concentração de betalaína durante o decorrer do armazenamento. Yee & Wah (2017), obtiveram resultado semelhante de betacianina em oito semanas de armazenamento com a aplicação de pó de pitaia vermelha como corante alimentar natural em pastilhas de frutas.

Figura 18 – Comportamento do teor de betalaína dos pós de pitáia liofilizado durante o armazenamento.



Fonte: A autora (2020).

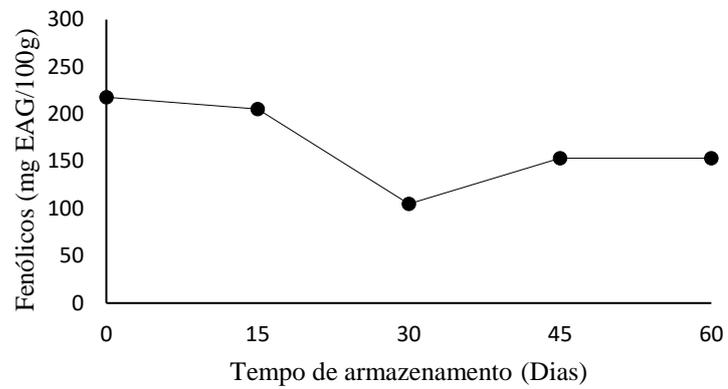
Shaaruddin et al. (2017), relatam que a degradação da betalaína pode ser causada pela maior absorção de umidade devido à maior higroscopicidade das partículas secas, e isso se confirma, conforme observado nas Figuras 12 e 13 para os comportamentos de higroscopicidade e umidade, respectivamente. O menor teor de betalaínas ao fim do tempo de armazenamento pode estar associada, ainda, a maior solubilidade que os pós apresentaram no mesmo período, conforme a figura 14.

4.6.8 Fenólicos

Na Tabela 20, os teores dos compostos fenólicos totais nos dias de armazenamento dos pós de pitáia vermelha tiveram diferença significativa ($p < 0,05$) entre si. Nota-se a diminuição dos valores entre o dia 0 e o dia 60. Como nas outras análises (Tabela 20), é possível ver que, no dia 30, os resultados seguem valores diferentes quando comparados aos outros dias. Nesse dia (primeiro dia de análise após o Decreto 33.509, de 19 de março de 2020, que dispõe e institui a regionalização das medidas de isolamento social devido o novo Coronavírus no estado do Ceará), os equipamentos laboratoriais utilizados nas análises apresentaram falhas durante o procedimento.

O comportamento do teor de compostos fenólicos totais do pó de pitáia (Figura 19) decaiu no decorrer do armazenamento, embora ao final do período ainda ter bom teor de compostos fenólicos. A oscilação da tendência no dia 30 é explicada por erros de experimentos da análise.

Figura 19 – Comportamento dos parâmetros de compostos fenólicos totais dos pós de pitiaia liofilizado durante o armazenamento.



Fonte: A autora (2020).

Khalifa et al. (2019), também tiveram resultados decrescentes em polifenóis totais ao longo de 60 dias do armazenamento com suco de amora em pó seco em *spray-dryer* com maltodextrina.

5. CONCLUSÕES

A polpa de pitaia apresentou um alto teor de umidade e quantidades significativas de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e pigmentos de betalaínas, contendo ainda, baixos teores de acidez e sólidos solúveis.

A liofilização provocou modificações nas características físico-químicas da polpa utilizada no trabalho, com perdas nos teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e betalaínas. Mesmo assim, o produto final ainda se caracterizou como importantes fonte de antioxidantes.

A maltodextrina reduziu a higroscopicidade e aumentou a solubilidade e a fluidez dos pós, além de resultar um pó com maior densidade aparente. Já o aumento da dextrina na mistura contribuiu para a redução da umidade e menor fluidez dos pós. Porém, apresentou melhor comportamento quanto ao ganho de umidade, de acordo com as isotermas avaliadas. A goma arábica resultou em pós com maior higroscopicidade e menores fluidez e ângulo de atrito com a parede.

A microscopia eletrônica de varredura apresentou os pós com formatos irregulares, com comportamentos diferentes para os três adjuvantes. As partículas do pó contendo maltodextrina apresentaram superfícies mais arredondadas e com mais ligações entre si. Os pós contendo goma arábica e dextrina resultaram em partículas menores e com formatos irregulares.

O melhor ajuste das isotermas foi apresentado pelo modelo de BET e as isotermas obtidas para todas as amostras foram do tipo “J”.

Dentre os adjuvantes utilizados, a maltodextrina foi a que mais contribuiu para as melhores características físicas do pó da polpa de pitaia, sendo classificado como um pó de escoamento fácil e fluidez aceitável. A utilização da maltodextrina para o pó da polpa de pitaia apresentou melhor potencial de utilização por gerar um pó de boa qualidade, tanto em relação as suas características físicas quanto as físico-químicas

Na avaliação da estabilidade do pó contendo maltodextrina (20%, m/m) verificou-se uma diminuição dos compostos fenólicos, betalaínas e pH, porém a umidade, higroscopicidade e acidez mantiveram-se estáveis durante os 60 dias de armazenamento.

REFERÊNCIAS

- ABADIO, F. D. B.; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, V. M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananás comosus*) juice-effect of maltodextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 3, p. 285-287, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.10.010>. Acesso em: 10 maio 2019.
- ABREU, W. C., LOPES, C. DE O., PINTO, K. M., OLIVEIRA, L. A., CARVALHO, G. B. M. DE & BARCELO, M. DE F. P. Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitaias vermelha e branca. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v. 71, n. 4, p. 656-661. 2012.
- ADIBA, B.D.; SALEM, B.; NABIL, S.; ABDEL HAKIM, M. Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera* L.) and spirulina (*Spirulina sp.*) powders. **Powder Technology**, n. 208, p. 725–730, 2011.
- AFONSO, M. R. A.; RODRIGUES, B. K. M.; COSTA, J. M. C. DA; RYBKA, A. C. P.; WURLITZER, N. J. Microstructure and flow properties of lyophilized mango pulp with maltodextrin. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 133-137, 2019.
- AGUILERA J. M.; DEL VALLE J. M.; KAREL M. *Caking* phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, 1995.
- ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 1, p. 81–87, 2009.
- ALEXANDRE, H. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Isotermas de adsorção de umidade de pitanga em pó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 11–20, 2007.
- ALVES, C. C. O.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; PRADO, M. E. T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n.4, p. 830-839. out.-dez. 2008.
- ALVES, C. Z.; GODOY, A. R.; CORRÊA, L. S. Adequação da metodologia para o teste de germinação de sementes de pitaiá vermelha. **Ciência Rural**, v. 41, n. 5, 2011.
- ALTAMIRANO, R.; DRDÁK, M.; SIMON, P. Thermal degradation of betanine in various water alcohol model systems. **Food Chem.**, v. 46, p. 73–75. 1993.
- ANDRADE, R. A. DE; MARTINS, A. B. G.; SILVA, M. T. H. Development of seedlings of red pitaya (*Hylocereus undatus* Haw) in different substrate volumes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 697–700, 2008.
- ANDRADE, R. D.; LEMUS, R.; PÉREZ, C. E. Models of sorption isotherms for food: uses and limitations. **Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica.**, Colombia, v. 18, n. 3, p. 325-334, 2011.

- ANSELMO, G. C. S.; MATA, M. E. R. M. C.; ARRUDA, P. C. DE. Determinação da higroscopicidade do cajá em pó por meio da secagem por atomização. **Rev. de Biol. e Ciênc. da Terra**. Campina Grande, v. 6, n. 2, 2006.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. **Pronto para Crescer**. Santa Cruz do Sul, Editora Gazeta Santa Cruz, 2018. 92p.
- ARAÚJO, T. M. R.; FARIAS, M. D. L.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. DA; EÇA, K. S. Maltodextrin on the flow properties of green coconut (*Cocos nucifera* L.) pulp powder. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44:e003220, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202044003220>. Acesso em: 21 nov. 2020.
- ARIFFIN, A. A., BAKAR, J., TAN, CH. P., RAHMAN, R. A., KARIM, R., LOI, CH. CH. Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 561-564, 2009.
- ATTOE, E.; VON ELBE, J. Degradation kinetics of betanin in solutions as influenced by oxygen. **J. Agric. Food Chem**, v. 30, p. 708–712. 1982.
- AYALA-APONTE, A. A.; GIRALDO-CUARTAS, C. J.; SERNA-COCK, L. Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). **Interciencia** v. 35, n. 7, p. 539-544, 2010.
- AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Editora técnica. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 195p. 2004.
- AZIZ, M. G.; YUSOF, Y. A.; BLANCHARD, C.; SAIFULLAH, M.; FARAHNAKY, A. & SCHEILING, G. Material properties and tableting of fruit powders. **Food Eng Rev**, v. 10, p. 66–80. 2018.
- BAKRY, A. M.; ABBAS, S.; ALI, B.; MAJEED, H.; ABOUELWAFI, M. Y.; MOUSA, A.; LIANG, L. Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.** v. 15, p. 143-182. 2016.
- BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. DE. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317p.
- BHANDARI, B. R.; DATTA, N. & HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, p. 671-684. 1997.
- BHANDARI, B. R. & HOWES, T. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. **J. Food Eng.** v. 40, n. 1, p. 71-79, 1999.
- BHANDARI, B. R.; PATEL, K. C. & CHEN, X. D. Spray dryer of food materials – process and product characteristics. In: CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. **Drying Technologies in Food**. Blackwell Publishing. 2008.
- BHANDARI, B. R.; SNOUSSI, A.; DUMOULIN, E. D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, 1993.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354–364, nov. 2014.

BICUDO, M. O. P.; JÓ, J.; OLIVEIRA, G. A. DE; CHAIMSOHN, F. P.; SIERAKOWSKI, M. R.; FREITAS, R. A. DE & RIBANI, R. H. Microencapsulation of juçara (*Euterpe edulis* M.) pulp by spray drying using different carriers and drying temperatures. **Drying Technology**, v. 33, n. 2, p. 153–161, jan. 2015.

BLAHOVEC, J. Sorption isotherms in materials of biological origin mathematical and physical approach. **Journal of Food Engineering**, v. 65, p. 489–495, 2004.

BERY, C. C. S.; VIEIRA, A. C. A.; GUALBERTO, N. C.; CASTRO, S. S.; SILVA, G. F.; SANTOS, E. D. A.; SANTOS, B. S. Caracterização físico-química de polpa de acerola *in natura* e liofilizada para preparação de sorvetes. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 3542-3546, 2015.

BRUNAUER, S., DEMING, L.S., TELLER, E. On a theory of Van derWaals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**. v. 62, n. 7, p. 1723–1732, 1940.

BRUNINI, M. A. & CARDOSO, S. S. Qualidade de pitaias de polpa branca armazenadas em diferentes temperaturas. **Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 78-84. 2011.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus Betacyanin* Pigments. **Journ. of Food Scien.**; v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGUETA, P. C.; RAMOS, A.M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovate Food Science and Emerging Technologies**, v. 6, p. 420-428, 2005.

CANUTO, H. M. P.; AFONSO, M. R. A. & COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrin. **Acta Scientiarum Technology**, v. 36, n. 1, p. 179-185. 2014.

CAPARINO, O. A.; SABLANI, S. S.; TANG, J.; SYAMALADEVI, R. M.; NINDO, C. I. Water sorption, glass transition, and microstructures of refractance window and freeze-dried mango (*Philippine "Carabao" Var.*) powder. **Drying Technology**, v. 31, n. 16, p. 1969-1078, 2013.

CARLOS, L. DE A.; RESENDE, J. V. DE; CAL-VIDAL, J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em Soluções-Modelo de açúcares constituintes de frutas. **Braz. Journ. Food Technol.**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 163-73, abr./jun. 2005.

CARR, R. L. Evaluating flow properties of solids. **Chemical Engineering**, v. 72, n. 3, p.163–168. 1965.

CARVALHO, F. **Construção e avaliação de desempenho de um spray-dryer piloto**. 2011. 167 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras UFLA, Minas Gerais, 2011.

CASTOLDI, M.; ZOTARELLI, M. F.; DURIGON A.; CARCIOFI, B. A. M.; LAURINDO, J. B. Production of tomato powder by refractance window drying. **Drying Technology**, v. 33, n. 12, p. 1463-1473, 2015.

CATELAM, K.T.; TRINDADE, C.S.F.; ROMERO, J.T. Water adsorption isotherms and isosteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrate passion fruit pulp with additives and skimmed milk. **Ciência e Agrotecnologia Lavras**, v. 35, n. 6, p. 1196–1203, 2011.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A. & COSTA, J. M. C. Avaliação dos parâmetros de secagem da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 20, e2016015. 2017.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A. & COSTA, J. M. C. Comportamento higroscópico da polpa de graviola em pó obtida por secagem em spray dryer. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 21, e2017121. 2018.

CHEMAH, T. C.; AMINAH, A.; NORIHAM, A.; WAN- AIDA, W. M. Determination of pitaya seeds as a natural antioxidant and source of essential fatty acids. **International Food Research Journal**, v. 17, n. 4, p. 1003-1010, 2010.

CHIEN, P.; SHEU, F.; LIN, H. Quality assessment of low molecular weight chitosan coating on sliced red pitayas. **Journal of Food Engineering**, 79, 736e740, 2007.

CHIK, C. T.; BACHOK, S. & BABA, N. Quality characteristics and acceptability of three types of pitaya fruits in a consumer acceptance test. **Journal of Tourism, Hospitality & Culinary Arts**, Shah Alam, v. 3, n. 1, p. 89-98. 2011.

CHITARRA, M. I. F. & CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE. 2005.

CHOUDHURY, M. M. Foco no agronegócio de manga. **Revista Com Você**, v. 15, n. 143, p. 07, 2001.

CHUTICHUDET, B.; CHUTICHUDET, P. Effects of chitosan coating to some postharvest characteristics of *Hylocercus undatus* (Haw) Britton and Rose fruit. **International Journal of Agricultural Research**, v.6, p. 82-92, 2011.

COLLARES, F.; FINZER, J.; KIECKBUSCH, T. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. **J. Food Eng.** v. 61, n. 2, p. 261-267, 2004.

COMUNIAN, T. A.; QUINTERO, E. S. M.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; TRINDADE, C.S.F. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spraydried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International J. of Food Science and Tech.**, v. 46, p. 1259–1265, 2011.

CORDEIRO, M. H. M.; SILVA, J. M. D.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; MOTA, W. F. D. Caracterização física, química e nutricional da pitaia-rosa de polpa vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 20-26, 2015.

CORRÊA, P. C. et al. Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: obtenção e modelagem. **Revista Bras. de Eng. Agríc. e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 53-60, 2006.

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, p. 5–9. 2003.

COSTA, L. O.; LARA JUNIOR, J. M.; COSTA, J. M. C. DA; AFONSO, M. R. A.; RODRIGUES, S.; WURLITZER, N. J. Stability and microstructure of powdered pulp of the Palmer mango obtained by the process of lyophilisation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 2, p. 251-258, abr-jun, 2019.

COSTA, S. S.; MACHADO, B. A. S.; MARTINS, A. R.; BAGNARA, F.; RAGADALLI, S. A.; ALVES, A. R. C. Drying by spray drying in the food industry: micro-encapsulation, process parameters and main carriers used. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 9, p. 462-470, 2015.

CRISTOFOLI, N. L.; LIMA, C. A. R.; MOTA, A. M.; PEIXOTO, N. M.; LIMA, J. da S. S.; SILVA, F. M. R.; VASCONCELOS, L. B. de T. ; FIGUEIREDO, R. W. DE. Pitaia (*H. costaricensis*): um fruto com características atrativas para a indústria de processamento. In: **XX Congresso Brasileiro de engenharia química**. Florianópolis, 2014.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

DU, J.; GE, Z.-Z.; XU, Z.; ZOU, B.; ZHANG, Y.; LI, C.-M. Comparison of the efficiency of five different drying carriers on the spray drying of persimmon pulp powders. **Dry. Technol.** v. 32 n. 10, p. 1157-1166. 2014.

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. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, n.2, p. 382-386, 2007.

ESQUIVEL, P.; AYARA, Y. Q. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. **Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, v. 3, n.1, p. 113-129, 2012.

ESQUIVEL, P., STINTZING F. C., CARLE R. Pigment pattern and expression of colour in fruits from different *Hylocereus* sp. genotypes. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 8, n. 3, p. 451-457, 2007.

FABRA, M.J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content/temperature activity/glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **J. Food Eng.** v. 103, p. 47-51. 2011.

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 Bioprod. Process.** v. 90, n. 4, p. 667-675. 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, L.; CASAL, S.; PEREIRA, J. A.; SARAIVA, J. A.; RAMALHOSA, E. Effects of different drying methods on the bioactive compounds and antioxidant properties of edible *Centaurea (Centaurea cyanus)* petals. **Braz. J. Food Technol.**, v. 21, e2017211, 2018.

FERNANDES, R. V. DE B.; BORGES, S. V. & BOTREL, D. A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 33 (Supl. 1), p. 171-178. 2013.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; VISSOTTO, S. Z.; AGUIRRE, J. M. D. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 6, p. 1237-1245, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02964.x>. Acesso em: 11 jun. 2020.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; AGUIRRE, J. M. D. Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. **Drying Technol. Int. J.** v. 31, p. 470-478. 2013.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; DE AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Dry. Technol.** v. 30, p. 154-163. 2012.

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

FERREIRA, A. P. R.; SOUSA, S. L.; LIMA, D.M.; COSTA, J. M. C. Caracterização de polpa de cajá em pó obtida pelo método de secagem em leito de jorro. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 2014.

FIZTPATRICK, J. J.; IQBAL, T.; DELANEY, C.; TWOMEY, T.; KEOGH, M. K. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journ. of Food Eng.**, Filadélfia, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004.

FRANCESCHINIS, L.; SALVATORI, D.M.; SOSA, N.; SCHEBOR, C. Physical and functional properties of blackberry freeze- and spray-dried powders. **Drying Technol. Int. J.** v. 32, p. 197-207. 2014.

FREITAS-SILVA, O.; SOUZA, A. M.; OLIVEIRA, E. M. M. Potencial da ozonização no controle de fitopatógenos em pós-colheita. In: LUZ, W. C. (Ed.). **Revisão anual de patologia de plantas.** Passo Fundo: Gráfica e Editora Padre Berthier dos Missionários da Sagrada Família, p. 96-130. v. 21. (versão online). 2013.

- GAGNETEN, M.; CORFIELD, R.; MATTSON, M. G.; SOZZI, A.; LEIVA, G.; SALVATORI, D.; SCHEBOR, C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. **Powder Technology**, v. 342, p. 1008–1015. 2019.
- GALLARDO, G. et al. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. **Food Research International**, v. 52, n. 2, p. 473-482, 2013.
- GARCÍA-CRUZ, E. E. **Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas**. 82 p. (MSc. Thesis) - Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Mexico. 2011.
- GARCÍA-CRUZ, L.; DUEÑAS, M.; SANTOS-BUELGAS, C.; VALLE-GUADARRAMA, S. & SALINAS-MORENO, Y. Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. pruinosus* and *S. stellatus*). **Food Chemistry**, v. 234, p. 111–118. 2017.
- GAVA, A. J. Tecnologia de Alimentos: **Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.
- GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **GEA Niro analytical methods: analytical methods dry milk products**. 14° ed. Søborg: GEA, p. 103. 2003.
- GELDART, D.; ABDULLAH, E. C.; VERLINDEN, A. Characterisation of dry powders. **Powder Technology**, v. 190, n. 1, p. 70–74, mar. 2009.
- GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007.
- GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. S.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n. 3, p. 384-389, jul.-set. 2004.
- GOMES, P. M. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. S.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.157-165, 2002.
- GOULA, A. M. et al. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73–83, mar. 2008.
- 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.
- HARIVAINDARAM, K.V., REBECCA, O.P.S., CHANDRAN, S. Study of optimal temperature, pH and stability of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel for use as potential natural colorant. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 11 n. 18, p. 2259-2263, 2008.
- HOA, T. T.; CLARK, C. J.; WADDELL, B. C.; WOOLF, A. B. Postharvest quality of Dragon fruit (*Hylocereus undatus*) following disinfesting hot air treatments. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 41, n. 1, p. 62-69, 2006.

HUANG, A. S., & VON ELBE, J. H. Effect of pH on the degradation and regeneration of betanin. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 6, p. 1689-1693. 1987. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05907.x>. Acesso em: 22 set. 2020.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4^a ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JAMALI, A.; KOUHILA, M.; MOHAMED, L.A.; JAOUHARI, J.T.; ABDENOURI, N. Sorption isotherms of *Chenopodiumambrosioides*, leaves at three temperatures. **Journal Food Engineering**, v. 72, p. 77–84, 2006.

JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, v. 264, p. 190-196. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.032>. Acesso em: 13 dez. 2020.

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

KARAASLAN, I.; DALGIÇ, A. C. Spray drying of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. **Journal Food Science and Technology**, 2012. DOI: 10.1007/s13197-012-0847-0

JENIKE, A.W. **Storage and flow of silos**. Salt Lake City. University of Utah. Bulletin 123. Engineering Experiment Station (1964).

KIM, H.; CHOI, H.K.; MOON, J.Y.; KIM, Y.S.; MOSADDIK, A.; CHO, S.K. Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. 38-45, 2011.

KINGWATEE, N. et al. Spray drying Lactobacillus casei 01 in lychee juice varied carrier materials. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, Part 2, p. 847–853, jun. 2015.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isoterma de dessecamento de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 828–834, 2005.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journ. Agric. Food Chem.**, v. 45, p. 209 - 215. 1997.

LI, X., LONG, Q., GAO, F., HAN, C., JIN, P. & ZHENG, Y. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 124, p. 1-7. 2017.

LIAO, H., ZHU, W., ZHONG, K. & LIU, Y. Evaluation of colour stability of clear red pitaya juice treated by thermosonication. **Food Science and Technology**, v. 121. 2020.

LIM, H. K.; TAN, CH. P.; KARIM, R.; ARIFFIN, A. A.; BAKAR, J. Chemical composition and DSC thermal properties of two species of *Hylocereus* cacti seed oil: *Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*. **Food Chemistry**, v. 119, p. 1326-1331, 2010.

- LIM, H. K., TAN, CH. P., BAKAR, J., NG, S. P. Effects of different wall materials on the physicochemical properties and oxidative stability of spray-dried microencapsulated red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed oil. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 1220-1227, 2012.
- LIM, S. D.; YUSOF, Y. A.; CHIN, N. L.; TALIB, R. A.; ENDAN, J.; AZIZ, M. G. Effect of extraction parameters on the yield of betacyanins from pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) pulps. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 9, n. 2, p.158-162, 2011.
- LIMA, N. D. DE; AFONSO, COSTA, M. R. A.; J. M. C. DA; CARVALHO, J. D. G. Powdered beverage mix with acerola pulp, whey and maltodextrin. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 50, n. 4, p. 578-583, out-dez, 2019.
- LIU, L. X.; MARZIANO, I.; BENTHAM, A. C.; LITSTER, J. D.; WHITE, E. T. & HOWES, T. Effect of particle properties on the flowability of ibuprofen powders. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 362, n. 1–2, p. 109–117. 2008.
- LIU, R.; GAO, H.; CHEN, H.; FANG, X. & WU, W. Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Food Chemistry**, v. 283, p. 588–595. 2019.
- LOPES NETO, J. P.; SILVA, V. R. DA; NASCIMENTO, J. W. B. DO. Propriedades de fluxo de produtos pulverulentos alimentícios. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 13, n. 5, p. 639–644, 2009.
- LOPES NETO, J. P.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, V. R.; LOPES, F. F. M. Propriedade de fluxo e característica de escoabilidade de rações avícolas para dimensionamento de silos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 851-859, 2007.
- MACIEL, R. M. G.; LIMA, S. B.; COSTA, J. M. C. da; AFONSO, M. R. A. Influência da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó da polpa de cupuaçu. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 5829-5839, feb. 2020a.
- MACIEL, R. M. G.; AFONSO, M. R. A. ; COSTA, J. M. C. DA; ARAÚJO, T. M. R. Influence of albumin on guava pulp powder obtained by foam-mat drying. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 388-395, may/jun. 2020b.
- MAGALHÃES, D. S., SILVA, D. M. DA, RAMOS, J. D., PIO, L. A. S., PASQUAL, M., VILAS BOAS, E. V. B., GALVÃO, E. C. & MELO, E. T. DE. Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 180–186. 2019.
- MAHATTANATAWEE, K., MANTHEY, J. A., LUZIO, G., TALCOTT, S. T., GOODNER, K. & BALDWIN, E. A. Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. **Journal Agric Food Chem**, v. 54, n.19, p. 7355-7363. 2006.
- MALISKA, A. M. **Microscopia eletrônica de varredura**. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Apostila 98p. 2012.

- MARQUES, L. G.; FERREIRA, M. C.; FREIRE, J. T. Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). **Chemical Engineering and Processing**, v.46, p. 451-457, 2007.
- MARTINELLI, L. **Construção e desenvolvimento de um secador de leite pulsofluidizado para secagem de pastas e polpas**. 2008. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2008.
- MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003.
- MELLO, F. R., DIAS, C. B. C. O., GONZAGA, L., AMANTE, E., FETT, R. & CANDIDO, L. M. B. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. **Cienc. Rural**, v. 45, p. 323–328. 2015.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.**, v. 11, p. 426-428, 1959.
- MIZRAHI, Y. Vine-cacti pitayas: the new crops of the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 124–138, mar. 2014.
- MOLINA, R.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, M. R. DA S.; VAGULA, J. M. Physical evaluation and hygroscopic behavior of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) lyophilized pulp powder. **Drying Technology**, v.32, n.16, p.2005-2011, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.929587>. Acesso em: 13 maio 2020.
- MORAES, S. G. G., BORGES, G. DA S. C., LIMA, M. DOS S., MARTIN-BELLOSO, O. & MAGNANI, M. Effects of probiotics on the content and bioaccessibility of phenolic compounds in red pitaya pulp. **Food Research International**, v. 126. 2019.
- MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. 2010. 115p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Dept. de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2010.
- NAYAK, C. A.; RASTOGI, N. K. Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. **Dry. Technol.** v. 28, p. 1396-1404. 2010.
- NERD, A., GUTTMAN, F., MIZRAHI, Y. Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). **Postharvest Biology and Technology**, v. 17, p. 39-45, 1999.
- NERD, A.; MIZRAHI, Y. Effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, n.1, p. 99-105, Feb. 1999.
- NUNES, E. N.; SOUZA, A. S. B.; LUCENA, C.M.; SILVA, S. M.; LUCENA, R. F. P.; ALVEZ, C. A. B.; ALVES, R. E. Pitaia (*Hylocereus* sp.): uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v.8, p. 90-98, 2014.
- NURLIYANA, R.; SYED ZAHIR, I.; MUSTAPHA SULEIMAN, K.; AISYAH, M.R.; KAMARUL RAHIM, K. Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: a comparative study. **International Food Research Journal**, v. 17, p. 367-375, 2010.

- OLIVEIRA, D. M. et al. Hygroscopic behavior of lyophilized powder of grugru palm (*Acrocomia aculeata*). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 4, n. 10, p. 1, 2013a.
- OLIVEIRA, G. S. **Aplicação do processo de liofilização na obtenção de cajá em pó: avaliação das características físicas, físico-químicas e higroscópicas**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2012, 83 p.
- OLIVEIRA, M. I. S. et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 310–318, dez. 2013b.
- OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, p.342–348, 26 abr. 2011.
- ORDÓÑEZ, J. A. Tecnologia de Alimentos: **Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2005. 294p.
- ORTEGA-RIVAS, E. Bulk properties of food particulate materials: an appraisal of their characterisation and relevance in processing. **Food Bioprocess Technol.** v. 2, n. 1, p. 28-44. 2009.
- ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 220-237, 2012.
- OSORIO, C.; ACEVEDO, B.; HILLEBRAND, S.; CARRIAZO, J.; WINTERHALTER, P. & MORALES, A. L. Microencapsulation by spray drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 6977–6985. 2010.
- OWUOR, P. O. & OBANDA, M. The effects of some agronomic and processing practices and clones on the relative composition of the theaflavins in black tea. **Food Science and Technology International**, Tokyo, v. 3, n. 4, p. 344-347. 1997.
- PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, p.83-94, 2008.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan.-abr. 2001.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food Bioprocess Technol.** v. 6, p. 36–60, 2013.
- PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Influência da temperatura nos parâmetros de modelos bi-paramétricos que predizem isotermas de adsorção de umidade do guaraná

(*Paullinia cupana*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 17, n. 3, p. 229-232, 1997.

PEREIRA, T., CARLOS, L. A., OLIVEIRA, J. G. & MONTEIRO, A. R. Influência das condições de armazenamento nas características físicas e químicas de goiaba (*Psidium guajava*), cv. cortibel de polpa branca. **Ceres**, Viçosa, v. 53, n.306, p. 276-284. 2006.

PHEBE, D., CHEW, M. K., SURAINI, A. A., LAI, O. M. & JANNA, O. A. Red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruit colour and betacyanin content depend on maturity. **International Food Research Journal**, Selangor, v. 16, n. 1, p. 233-242. 2009.

POT FULL. Frutas exóticas: pitaya. 2012. Disponível em:
<http://www.potfull.com.br/pitaya.htm>. Acesso em: 26 out. 2019.

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

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. CRC Press, [s.n.] 2008.

RAJABI, H. et al. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. **Food hydrocolloids**, v. 51, p. 327-337, 2015.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 49, n. 4, p. 311-319, 2001.

REYES-ÁLVAREZ, C. A.; LANARI, M. C. Storage stability of freeze-dried arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) powders. Implications of carrier type and glass transition. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, 108842, 2020.

RIBEIRO, L. C. **Produção de acerola em pó: métodos de secagem e avaliação da estabilidade**. 2014. 126f. [Dissertação] Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2014.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. DA & AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269-274. 2016. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p269-274.

RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. DA & AFONSO, M. R. A. Hygroscopic behavior of acerola powder obtained by *spray-drying*. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 41, e35382, 2019. Doi: 10.4025/actascitechnol.v41i1.35382.

RIBEIRO, T. P.; LIMA, M. A. C. D.; TRINDADE, D. C. G. D.; SANTOS, A. C. N. D.; AMARIZ, A. Uso de revestimentos à base de dextrina na conservação pós-colheita de manga 'Tommy Atkins'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 343-351, 2009.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration, In: M.A. Rao and S.S.H. Rizvi (Ed.). **Engineering Properties of Foods**, New York: Academic Press, 1995.

- ROCHA, É. M. F. F. **Desidratação de polpa de manga e suco de caju integral por atomização e caracterização dos produtos obtidos**. Tese (Doutorado). 145 f. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2013.
- ROCHA, É. M. F. F., SOUSA, S. L., COSTA, J. DE P. DA, RODRIGUES, S., AFONSO, M. R. A. & COSTA, J. M. C. DA. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Rev. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 646-651. 2014.
- RODRÍGUEZ, S. D., WILDERJANS, T. F., SOSA, N., & BERNIK, D. L. Image texture analysis and Gas sensor array studies applied to vanilla encapsulation by octenyl succinic anhydride starches. **Journal of Food Research**, v. 2, n.36. 2013.
- RODRIGUES, B. K. M. **Liofilização de polpa de manga (*Mangifera indica* L.) c.v Tommy Atkins: condições de secagem e estabilidade**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2012. 142f.
- RODRIGUES, I. Engenharia Alimentar, processamento geral de alimentos: **Liofilização**. ESAC. 2008. Disponível em: http://anselmo.quimica.ufg.br/up/56/o/FQSol_Aula_Liofilizacao.pdf. Acesso em: 15 de out. 2015.
- RODRÍGUEZ, D. A. R.; PATIÑO, M. P. G.; MIRANDA, D. L.; FISCHER, G.; GALVIS, A. J. V. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en poscosecha de La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). **Revista del Facultad Nacional del Agronomia**, Medellín, v. 58, n. 2, p. 2837-2857, 2005.
- ROOS, Y. H. Frozen state transitions in relation to freeze-drying. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Dordrecht, v. 48, n. 3, p. 535-544, 1997.
- ROOS, Y. H. Glass transition temperature and its relevance in food processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, Palo Alto, v. 1, n. 1, p. 469-496, 2010.
- ROQUE-SPECHT, V. F.; MAIA, M. S. Avaliação da perda de umidade de cinco variedades de tomate, através de secagem artificial. **Higiene Alimentar**, v. 16, n. 94, p. 30-32, 2002.
- SAIFULLAH, M.; YUSOF, Y.A.; CHIN, N.L. & AZIZ, M.G. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder Technology**, v. 301, p. 396–404. 2016.
- SANTANA, A. A.; PAIXÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. A. DE; TELIS, V. R. N. Influence of process conditions on the physicochemical properties of jussara pulp (*Euterpe edulis*) powder produced by spray drying. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 21, e2015085, 2018.
- SANTOS, C. M. G.; CERQUEIRA, R. C.; FERNANDES, L. M. S.; DOURADO, F. W. N.; ONO, E. O. Substratos e regulador vegetal no enraizamento de estacas de pitaya. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 625-629, 2010.

- SANTOS, L. D. dos. **Influência de dextrina e maltodextrina oxidadas de amido de mandioca nas características farinográficas da farinha de trigo**. 2016. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.
- SANTOS, M. R. P. V. DOS; CASTRO, J. C.; MARDIGAN, L. P.; WATANABE, R & CLEMENTE, E. Características físico-químicas, compostos bioativos, atividade antioxidante e enzimática de frutos de pitaia (*Hylocereus undatus*). **R. bras. Tecnol. Agroindustr.**, Ponta Grossa, v. 10, n. 1, p. 2081-2095, jul./dez. 2016.
- SANTOS, G. B. M.; DIONÍSIO, A. P.; MAGALHÃES, H. C. R.; ABREU, F. A. P. DE; LIRA, S. M.; LIMA, A. C. V. DE; SILVA, G. S. DA; GUEDES, J. A. C.; ARAUJO, I. M. DA S.; ARTUR, A. G.; PONTES, D. F. & ZOCOLO, G. J. Effects of processing on the chemical, physicochemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose). **Food Research International**, 127. 2020.
- SEERANGURAYAR, T.; MANICKAVASAGAN, A.; AL-ISMAILI, A. M.; AL-MULLA, Y. A. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. **Journal of Food Engineering**. v. 215, p. 33-43, 2017.
- SHAARUDDIN, S.; GHAZALI, H. M.; MIRHOSSEINI, S. H. & MUHAMMAD, K. Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 129-134. 2017.
- SHEWFELT, R. L.; THAI, C. M.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. **J. Food Sci.** v. 53, p. 1433-1437, 1988.
- SHISHIR, M. R. I. et al. Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium Guajava*) powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 74-81, jan. 2014.
- SILVA, A. C. C.; MARTINS, A.B.G.; CAVALLARI, L.L. Qualidade de frutos de pitaia em função da época de polinização, da fonte de pólen e da coloração da cobertura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 1.162-1.168, 2011.
- SILVA, A. C. C. et al. Morphological traits as tool to verify genetic variability of interspecific dragon fruit hybrids. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 1, 2017.
- SILVA, D. M.; NUNES, C.; PEREIRA, I.; MOREIRA, A. S. P.; DOMINGUES, M. R. M.; COIMBRA, M. A.; GAMA, F. M. Structural analysis of dextrans and characterization of dextrin-based biomedical hydrogels. **Carbohydrate Polymers**, v. 114, p.458-466, 2014.
- SILVA, G. J. F.; CONSTANT, P. B. L.; FIGUEIREDO, R. W. & MOURA, S. M. Formulação e estabilidade de corantes de antocianinas extraídas das cascas de jaboticaba (*Myrciaria ssp.*). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 429-436. 2010.
- SILVA, P. I. et al. Parameter optimization for *spray-drying* microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journ. of Food Eng.** v. 117, p. 538-544, 2013.

SOUSA, S. L.; MORAIS, B. A. DE; RIBEIRO, L. C.; COSTA, J. M. C. DA. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 678–682, jul. 2016.

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W. Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L.B.; BEUCHAT, L. R. (ed.) **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel Dekker, 1987. p.215-233.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalains-emerging prospects for food scientists. **Trends in Food Science Technology**, v. 18, p. 514, 2007.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. Analytical, nutritional and clinical methods section. **Food Chemistry**, v. 77, p. 101-106, 2002.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428 p.

SURAVANICHNIRACHORN, W.; HARUTHAITHANASAN, V.; SUWONSICHON, S.; SUKATTA, U.; MANEEBOON, T.; CHANTRAPORNCHAI, W. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunius* (L.) Spreng] powders. **Agriculture and Natural Resources**. v. 52, p. 354-360, 2018.

SYAMALADEVI, R. M.; INSAN, S. K.; DHAWAN, S.; ANDREWS, P.; SABLANI, S. S. Physicochemical properties of encapsulated red raspberry (*Rubus idaeus*) powder: influence of high-pressure homogenization. **Dry. Technol.** v. 30, p. 484-493. 2012.

TANAKA, D. L. **Influência da desidratação por spray drying sobre o teor de ácido ascórbico no suco de acerola (*Malpighia ssp.*)**. 2007. 56f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP - Universidade Estadual Paulista 'Professor Júlio de Mesquita Filho', Araraquara, 2007.

TANG, X.; PIKAL, M. J. Design of freeze-drying processes for pharmaceuticals: practical advice. **Pharmaceutical Research**, New York, v. 21, n. 2, p. 191-200, 2004.

TENORE, G. C.; NOVELLINO, E.; BASILE, A. Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Journal of Functional Foods**, v. 4, n. 1, p. 129-136, 2012.

TEODORO, R. A. R. et al. Effects of ultrasonication on the characteristics of emulsions and microparticles containing Indian clove essential oil. **Drying Technology**, v. 37, n. 9, p. 1162-1172, 2019.

THALBERG, K.; LINDHOLM, D.; AXELSSON, A. Comparison of different flowability tests for powders for inhalation. **Powder Technology**, v. 146, p. 206-213, 2004.

TIMMERMANN, E. O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 1, p. 19–31, abr. 2001.

- TO, L.V.; NGU, N.; DUC, N.D.; HUONG, H.T.T. Dragon fruit quality and storage life: Effect of harvesting time, use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. **Acta Horticulturae**, v. 575, p. 611-621, 2002.
- TOIVONEN, P. M. A.; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 1-14, 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 açaí em pó. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 29, n.2, p. 444-450, abr.-jun. 2009.
- TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 215-221, 2009.
- TONON, R. V., BRABET, C., PALLET, D., BRAT, P., & HUBINGER, M. D. Physicochemical and morphological characterisation of acai (*Euterpe oleraceae Mart.*) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 1950–1958. 2009.
- TSAMI, E.; KROKIDA, M. K.; DROUZAS, A. E. Effect of drying method on the sorption characteristics model fruit powders. **Journal of Food Engineering**, v. 38, n. 4, p. 381-302, 1999.
- TZE, N. L.; HAN, CH. P.; YUSOF, Y. A.; LING, CH. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 675-682, 2012.
- VASILE, F. E.; MARTINEZ, M. J.; PIZONES RUIZ-HENESTROSA, V. M.; JUDIS, M. A.; MAZZOBRE, M. F. Physicochemical, interfacial and emulsifying properties of a nonconventional exudate gum (*Prosopis alba*) in comparison with gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 245-253, 2016.
- XU, S.; PEGG, R. B.; KERR, W. L. Physical and chemical properties of vacuum belt dried tomato powders. **Food Bioproc. Technol.** n. 9, p. 91-100, 2015.
- YEE, L. P. & WAH, C. S. Application of red pitaya powder as a natural food colourant in fruit pastille. **Jurnal Gizi Klinik Indonesia**, v. 13, n. 3, p. 111-120, Januari. 2017.
- YUSOF, Y. A.; SALLEH, F. S. M.; CHIN, N. L. & TALIB, R. A. The drying and tableting of pitaya powder. **J Food Process Eng.**, v. 35, n. 5, p. 763–771. 2012.
- YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S.M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). **Journal Food Science and Technology**, v. 48, n. 6, p. 677–684, 2011.
- WALL, M. M.; KHAN, S. A. Postharvest quality of dragon fruit (*Hylocereus spp.*) after x-ray irradiation quarantine treatment. **HortScience**, v. 43, p. 2115-2119, 2008.

WALTER, R. H. Polysaccharide Dispersions: **Chemistry and Technology in Food**. San Diego: Academic Press, 1997.

WANITCHANG, J.; TERDWONGWORAKUL, A.; WANITCHANG, P. & NOYPITAK, S. Maturity sorting index of dragon fruit: *Hyloceresus polyrhizus*. **Journal of Food Engineering**, Thailand, v. 100, n. 3, p. 409-416. 2010.

WHITE JUNIOR, D. R.; HUDSON, P.; ADAMSON, J. T. Dextrin characterization by high-performance anion-exchange chromatography-pulsed amperometric detection and size-exclusion chromatography-multi-angle light scattering- refractive index detection. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 997, n. 1-2, p. 7985, 2003.

WICHIENTHOT, S.; JATUPORNPIPAT, M.; RASTALL, R.A. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 850-857, 2010.

WU, L. C.; HSU, H.W.; CHEN, Y.C.; CHIU, C. C.; LIN, Y. I.; ANNIE, H. J. Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v. 95, n. 2, p. 319-327, 2006.

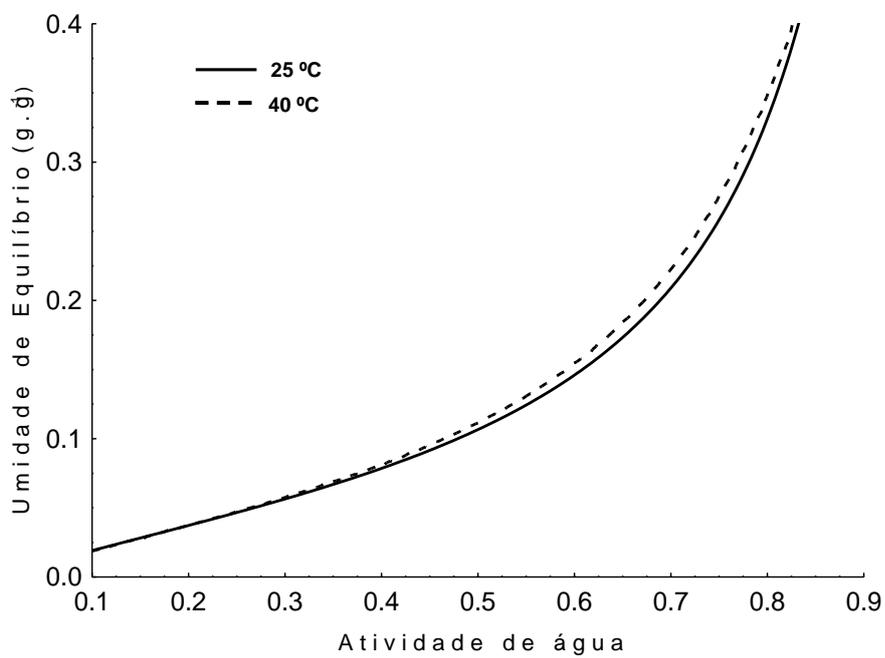
WU, M. C.; CHEN, C.S. Variation of sugar content in various parts of pitaya fruit. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 110, p. 225-227, 1997.

WYBRANIEC, S.; NOWAK-WYDRA, B.; MITKA, K.; KOWALSKI, P.; MIZRAHI, Y. Minor betalains in fruits of *Hylocereus* species. **Phytochemistry**, v. 68, n. 2, p. 251-259, 2007.

WYBRANIEC, S.; MIZRAHI, Y. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* cacti. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 6086-6089, 2002.

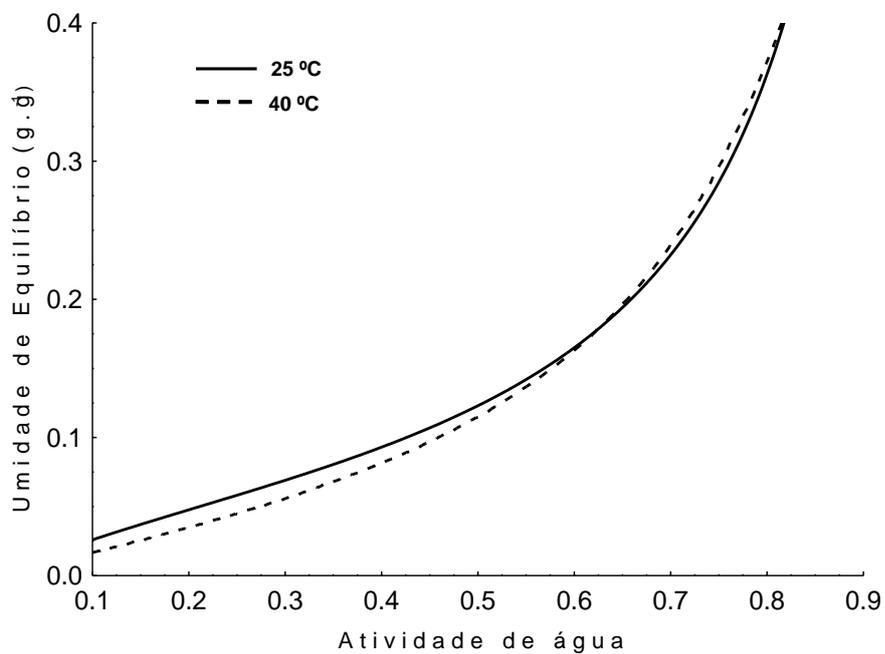
ZEA, L.P.; YUSOF, Y. A.; AZIZ, M. G.; LING, C. N. & AMIN, N. A. M. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. **Powder Technology**, v. 247, p. 112-119. 2013.

ANEXO A – ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE PITAIA VERMELHA LIOFILIZADO ADICIONADO DE MALTODEXTRINA.



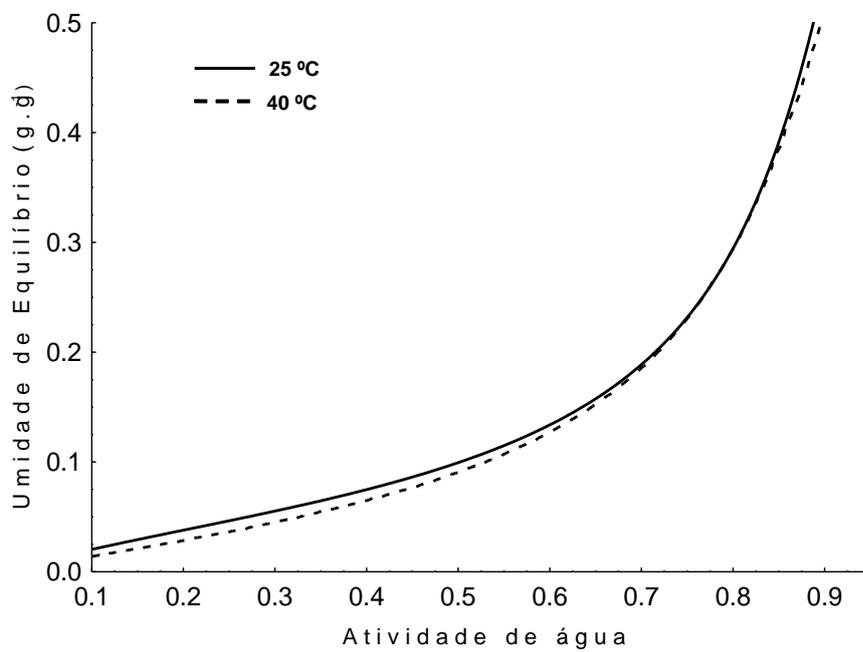
Fonte: A autora (2020).

ANEXO B - ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE PITAIA VERMELHA LIOFILIZADA ADICIONADO DE GOMA ARÁBICA.



Fonte: A autora (2020).

ANEXO C - ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DOS PÓS DE PITAIA VERMELHA LIOFILIZADA ADICIONADO DE DEXTRINA.



Fonte: A autora (2020).