

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Tainara Araujo Amorim

**Extração e caracterização de hidrocoloide obtido das cascas da pitaya-vermelha
(*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*)**

Campina Grande - PB

2024

Tainara Araujo Amorim

**Extração e caracterização de hidrocoloide obtido das cascas da pitaya-vermelha
(*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos

Orientador(es): Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão

Prof^ª. Dr^ª. Ana Júlia de Brito Araujo Carvalho

Agência Financiadora: Capes

Campina Grande – PB

2024

A524e

Amorim, Tainara Araujo.

Extração e caracterização de hidrocoloide obtido das cascas da pitaya-vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*)/ Tainara Araujo Amorim. – Campina Grande, 2024.

58 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão, Profa. Dra. Ana Júlia de Brito Araujo Carvalho".

Referências.

1. Pitaia (Fruta Dragão) – Cultura. 2. Polissacarídeos e Pectina. 3. Composição e Morfologia. 4. Engenharia de Alimentos. I. Gusmão, Rennan Pereira de. II. Carvalho, Ana Júlia de Brito Araujo. III. Título.

CDU 634.1(043)

Tainara Araujo Amorim

**Extração e caracterização de hidrocoloide obtido das cascas da pitaya-vermelha
(*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Alimentos como
requisito à obtenção do título de Mestre em
Engenharia de Alimentos

Aprovado em: 21 de fevereiro de 2024

Prof. Dr. Rennan Pereira de Gusmão
PPGEALI/CTRNUFCG

Prof^a. Dr^a. Ana Júlia de Brito Araujo Carvalho
IFSertãoPE

Prof^a. Dr^a. Mércia Melo de Almeida Mota
PPGEALI/CTRNUFCG

Prof^a. Dr^a. Thaisa Abrantes Souza Gusmão
PPGEALI/CTRNUFCG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

PROGRAMA DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS, REALIZADA EM 21 DE FEVEREIRO DE 2024.

Aos 21 dias do mês de FEVEREIRO de 2024, às 14:00 horas, em sessão pública no GoogleMeet, na presença da Banca Examinadora presidida pelo professor **Dr. Rennan Pereira de Gusmão(Orientador) - Matrícula/SIAPE nº 1938194**, a professora **Dra. Ana Júlia de Brito Araujo Carvalho (Coorientadora)**, a professora **Dr^a. Mércia Melo de Almeida Mota(Avaliadora-Membro Interno)- Matrícula/SIAPE nº 2736471**, a professora **Dra.Thaisa Abrantes Souza Gusmão (Avaliadora-Membro Interno)** a aluna **TAINARA ARAUJO AMORIM**, Mat.221173020050, apresentou DEFESA DE DISSERTAÇÃO, intitulado "**Extração e caracterização de hidrocoloide extraído da casca da pitaya-vermelha (Hylocereus polyrhizus) e branca (Hylocereus undatus)**", como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos. Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente a aluna e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pela aluna.



Documento assinado eletronicamente por **THAISA ABRANTES SOUZA GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/02/2024, às 14:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MERCIA MELO DE ALMEIDA MOTA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/02/2024, às 14:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **TAINARA ARAUJO AMORIM, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Júlia de Brito Araújo, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de](#)



Documento assinado eletronicamente por **RENNAN PEREIRA DE GUSMAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/03/2024, às 08:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4241320** e o código CRC **5DC3584A**.

Àqueles que são minha força e coragem:
minha mãe, irmã e avós maternos.
Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todos os seus planos para mim, guiando cada passo ao longo desta jornada acadêmica.

Expresso minha profunda gratidão à minha amada família — minha mãe, Gracilda, minha irmã, Tailane, e meus avós maternos, Terezinha e Raimundo (*in memoriam*) – por todo o amor, constante apoio e incentivo. Por serem minha força e minha coragem!

Ao meu dedicado orientador, Rennan Gusmão, expresso meu reconhecimento por todo o apoio, compreensão e valiosos ensinamentos ao longo deste processo. Sua orientação foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Ana Julia, que não apenas desempenhou o papel de coorientadora, mas também foi uma segunda mãe, minha sincera gratidão. Sua orientação sábia e encorajadora foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Agradeço também ao Professor Marcos Lima e ao IFSertãoPE por disponibilizarem os laboratórios necessários para a realização dos meus experimentos. Sua contribuição foi fundamental para o sucesso desta pesquisa.

Agradeço sinceramente a todos os professores do programa pelos inestimáveis ensinamentos, cada aula ministrada, cada orientação recebida e cada momento de troca de conhecimento contribuíram significativamente para a minha formação. Agradeço pela paciência, pela orientação valiosa e pela inspiração contínua que proporcionaram.

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa de estudo que permitiu minha permanência no programa.

Agradeço sinceramente a Luana, minha colega de laboratório e também amiga, por abraçar o meu projeto durante a Iniciação Científica e enfrentar os experimentos ao meu lado. Sua dedicação e colaboração foram essenciais para o progresso deste trabalho. E espero que sua jornada seja brilhante.

À Ana Beatriz, que não apenas se tornou uma colega de laboratório, mas sim uma valiosa amiga, expresso minha profunda gratidão. Seu apoio constante, incentivo e

capacidade de elevar a autoestima são fundamentais para o meu percurso acadêmico. Saiba que você tem minha estima e que torço muito pelo seu sucesso.

À Sinthya Kelly, minha parceira de mestrado, disciplinas e desesperos, agradeço por conseguirmos construir uma relação que começou muito antes de nos conhecermos pessoalmente. O nosso encontro pessoal superou as expectativas, você e Nathanael foram incríveis e não tenho nem como agradecer por tudo que fizeram por mim.

A cada um de vocês, agradeço por fazerem parte desta jornada acadêmica, contribuindo não apenas para o desenvolvimento do trabalho, mas também para o enriquecimento das relações interpessoais. Seu apoio foi crucial, e estou profundamente grato por cada momento compartilhado.

Que este agradecimento reflita a importância significativa que cada um de vocês teve no sucesso deste projeto.

Muito obrigada!

RESUMO

A família *Cactaceae* se destaca pelo potencial de uso na extração de hidrocoloides, na qual as espécies de pitaya estão incluídas. Esses hidrocoloides apresentam-se com potenciais estabilizantes, gelificantes, emulsificantes e entre outras funções. Desta forma, este trabalho teve o objetivo de extrair hidrocoloides da casca da pitaya-vermelha (HV) e branca (HB) e determinar as características físico-químicas e morfológicas visando obter hidrocolóide com qualidade tecnológica. Para isso, foram realizados testes preliminares de extração, sendo eles com hidratação em água e precipitação em etanol, seguidos de cinética de secagem em estufa de circulação de ar nas temperaturas de 50 e 60 °C, foram aplicados 5 modelos matemáticos para ajuste dos dados experimentais, em que a melhor temperatura de secagem foi definida pelos métodos de capacidade antioxidante por DPPH e FRAP. Posteriormente foram realizadas a caracterização das mucilagens obtidas na temperatura de 60 °C quanto ao perfil de compostos fenólicos, minerais e ácidos e açúcares, cor, espectrofotometria por infravermelho (FTIR), grau de metoxilação (GM) e microscopia de varredura (MEV). Analisando os resultados, determinou-se que as condições de extração T2 (temperatura ambiente (28 ± 2 °C) com agitação) foram as melhores, com rendimento de 25%, o modelo matemático de Lewis foi o que melhor explicou os dados experimentais. A temperatura de secagem dos hidrocoloides a 60 °C apresentaram melhores condições ao correlacionar os dados de capacidade antioxidante e taxa de secagem. O hidrocoloide da casca da pitaya da polpa vermelha (HV) obteve maiores concentrações de compostos fenólicos ($11,66 \text{ mg Kg}^{-1}$), quanto ao perfil de açúcares o hidrocoloide da casca da pitaya da polpa branca (HB) destacou-se com maior teor de açúcares simples, glicose e frutose ($27,30 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$). Os hidrocoloides HV e HB não apresentaram diferença significativa em relação ao perfil de minerais ($15,22 \text{ g Kg}^{-1}$ - HV e $15,80 \text{ g Kg}^{-1}$ - HB) e ácidos orgânicos ($11,07 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ - HV e $11,08 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ - HB). Na análise de cor foi possível verificar que o processo de secagem convectiva a 60 °C dos hidrocoloides da casca da pitaya não afetou os parâmetros de cor do HV, enquanto o HB sofreu redução da luminosidade (L^*), da coordenada b^* , da cromaticidade (C^*) e do ângulo hue, O espectro por FTIR confirmou a predominância de pectina de alta metoxilação na composição dos hidrocoloides, obtendo-se grau de metoxilação de 73,5% e 61,3% para os hidrocoloides HV e HB, respectivamente. A análise de microscopia

eletrônica de varredura (MEV) nas resoluções 50 e 100 μm dos hidrocoloides HV e HB apresentaram comportamentos semelhantes, apesar de serem variedades diferentes, sendo possível observar aglomerados e estruturas porosas. Os hidrocoloides de cascas de pitaya-vermelha e branca possuem viabilidade para a obtenção e aplicação da pectina, além de apresentar propriedades bioativas e funcionais para uso na indústria de alimentos e/ou outros segmentos industriais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região e agregação de valor aos resíduos da pitaya.

Palavras-chave: Fruta dragão; Polissacarídeos; Pectina; Composição; Morfologia.

ABSTRACT

The Cactaceae family stands out for its potential use in the extraction of hydrocolloids, in which dragon fruit species are included. These hydrocolloids have potential stabilizing, gelling, emulsifying, and other functions. In this way, this work aimed to extract hydrocolloids from the peel of red (HV) and white pitayas (HB) and determine the physicochemical and morphological characteristics to obtain a technologically quality hydrocolloid. Preliminary extraction tests were conducted, including hydration in water and precipitation in ethanol. Subsequently, drying kinetics were performed in a circulating air oven at temperatures of 50 and 60 °C. Five mathematical models were applied to fit the experimental data, with the best drying temperature defined by DPPH and FRAP antioxidant capacity methods. The mucilage obtained at 60 °C was characterized regarding phenolic compounds, minerals, acids and sugars profile, color, infrared spectrophotometry (FTIR), degree of methoxylation (GM), and scanning electron microscopy (MEV). Analyzing the results, it was determined that the extraction conditions T2 (room temperature (28 ± 2 °C) with agitation) yielded the best results with a 25% yield, and the Lewis mathematical model best explained the experimental data. The drying temperature of hydrocolloids at 60 °C showed better conditions when correlating antioxidant capacity and drying rate data. The hydrocolloid from the red pitaya peel (HV) obtained higher concentrations of phenolic compounds (11.66 mg Kg⁻¹), while the hydrocolloid from the white pitaya peel (HB) stood out with a higher content of simple sugars, glucose, and fructose (27.30 g 100 g⁻¹). HV and HB hydrocolloids showed no significant difference in mineral profile (15.22 g Kg⁻¹ - HV and 15.80 g Kg⁻¹ - HB) and organic acids (11.07 g 100 g⁻¹ - HV and 11.08 g 100 g⁻¹ - HB). In the color analysis, it was observed that the convective drying process at 60 °C did not affect the color parameters of HV, while HB experienced a reduction in luminosity (L*), b* coordinate, chromaticity (C*), and hue angle. FTIR spectra confirmed the predominance of high methoxyl pectin in the composition of hydrocolloids, with methoxylation degrees of 73.5% and 61.3% for HV and HB hydrocolloids, respectively. Scanning electron microscopy (MEV) analysis at resolutions of 50 and 100 μm for HV and HB hydrocolloids showed similar behaviors, despite being different varieties, with the presence of clusters and porous structures. The hydrocolloids from red and white pitaya peels have viability for obtaining and applying pectin, in addition to presenting bioactive

and functional properties for use in the food industry and/or other industrial segments. This contributes to the sustainable development of the region and adds value to pitaya waste.

Keywords: Dragon fruit; Polysaccharides; Pectin; Composition; Morphology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Frutos inteiros e cortados de pitaya-vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) (A), pitaya-branca (<i>Hylocereus undatus</i>) (B) e as cascas (C).	20
Figura 2. Rendimento das extrações do hidrocoloide da casca de pitaya-branca.	31
Figura 3. Imagens dos hidrocoloides dos diferentes tratamentos.....	32
Figura 4. Curva da cinética de secagem dos hidrocoloides da casca de pitaya-branca (A) E vermelha (B) nas temperaturas de 50 e 60 °C ajustadas ao modelo matemático de Lewis.	35
Figura 5. Curva da taxa de secagem das hidrocoloides das cascas de pitaya-branca (A) e vermelha (B) nas temperaturas de 50 e 60 °C, calculadas pela derivada do modelo matemático de Lewis.	36
Figura 6. Razão de umidade em função do tempo de secagem das cascas de pitaya da polpa branca (A) e vermelha (B) nas temperaturas de 50 e 60 °C.	37
Figura 7. Capacidade antioxidantes dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha e branca secos nas temperaturas de 50 e 60 °C.	38
Figura 8. Hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca úmido e secos a 60 °C.....	46
Figura 9. Espectro do FTIR dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB), e pectinas de alta (ATM) e baixa metoxilação (BTM).....	47
Figura 10. Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nas resoluções 50 e 100 µm dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB).	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos preliminares de extração do hidrocoloide de casca de pitaya-branca.....	26
Tabela 2. Modelos matemáticos para ajuste dos dados experimentais.....	27
Tabela 3. Parâmetros dos modelos, coeficiente de determinação (R^2) e função qui-quadrado (χ^2) obtidos pelo ajuste de modelos matemáticos empíricos aos dados experimentais da cinética de secagem dos hidrocoloides de cascas de pitaya-branca (HB) e vermelha (HV) nas temperaturas de 50 e 60 °C.	33
Tabela 4. Perfil de compostos fenólicos por HPLC-DAD dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca.	40
Tabela 5. Perfil de minerais por MP-AES dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca secos na temperatura de 60 °C.....	42
Tabela 6. Perfil de açúcares e ácidos orgânicos por HPLC-DAD-RID dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca secos na temperatura de 60 °C.....	43
Tabela 7. Cor dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha e branca.	44
Tabela 8. Grau de metoxilação dos hidrocoloides da casca de pitaya-vermelha e branca, e pectinas comerciais de alta e baixa metoxilação.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a*	Coordenada de cor verde (-) vermelho (+)
ATM	Pectina comercial de alta metoxilação
b*	Coordenada de cor azul (-) amarelo (+)
BTM	Pectina comercial de baixa metoxilação
C*	Cromaticidade
DAD	Detector de arranjo de diodos
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
FRAP	<i>Ferric Reducing Antioxidant Power</i>
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
GM	Grau de metoxilação
h°	Ângulo hue
HB	Hidrocoloide de casca de pitaya-branca
HB50	Hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco a 50 °C
HB60	Hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco a 60 °C
HBU	Hidrocoloide de casca de pitaya-branca úmido
HPLC	<i>High Performance Liquid Chromatography</i>
HV	Hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha
HV50	Hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco a 50 °C
HV60	Hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco a 60 °C
HVU	Hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha úmido
KBr	Brometo de potássio
L*	Luminosidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MP-AES	Espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por microondas
RID	Detector de índice de refração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
	2.1 Objetivo geral	18
	2.2 Objetivos específicos	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
	3.1 Pitaya	19
	3.2 Hidrocoloides	20
	3.2.1 Hidrocoloide de cactáceas	21
	3.3 Extração do hidrocoloide	22
	3.4 Características tecnológicas e funcionais dos hidrocoloides	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
	4.1 Testes de extração do hidrocoloide	25
	4.2 Extração do hidrocoloide	26
	4.3 Secagem convectiva	26
	4.4 Análises físico-químicas do hidrocoloide	27
	4.4.1 Capacidade antioxidante por DPPH e FRAP.....	27
	4.4.2 Perfil de fenólicos por HPLC-DAD	28
	4.4.3 Perfil de minerais	28
	4.4.4 Perfil de ácidos e açúcares por HPLC-DAD-RID	28
	4.4.5 Cor	29
	4.5 Análises estruturais	29
	4.5.1 Espectrofotometria no Infravermelho (FTIR)	29
	4.5.2 Grau de metoxilação (GM).....	29
	4.5.3 Morfologia dos hidrocoloides por Microscopia de Varredura (MEV).....	30
	4.6 Análise estatística	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
	5.1 Extração do hidrocoloide	31
	5.2 Cinética de secagem, taxa de secagem e razão de umidade	32
	5.3 Capacidade antioxidante e perfil de fenólicos dos hidrocolóides	37
	5.4 Perfil de minerais	42
	5.6 Cor	44

5.7 Espectroscopia no infravermelho (FTIR) e grau de metoxilação (GM).....	46
5.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	48
5 CONCLUSÃO.....	50
6 REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

O hidrocoloide natural é uma secreção rica em polissacarídeos solúveis ou, pelo menos, perceptivelmente aumentam de volume em água e que, após a adição de álcool (Dybka-Stępień et al., 2021). Apresentam similaridades com as gomas, pois ambos são hidrocolóides e têm sido utilizados em uma gama de indústrias, como espessantes, agentes gelificantes, no controle de sinérese, em emulsões e dispersões, na produção de filmes comestíveis (McClements, 2021; Amaral & Southgate, 2018), no controle das propriedades reológicas e de textura da massa, principalmente devido à sua capacidade de retenção de água (Chakrabortya, Kotwaliwale & Navale, 2020).

Com a crescente propensão ao uso de produtos naturais, a aplicação desses hidrocoloides trazem muitas vantagens, já que são atóxicos, nutritivos, biodegradáveis e flexíveis (Vieira & Cordeiro, 2023). Porém para que esses hidrocoloides extraídos de fontes não convencionais desempenhem as funções apresentadas requerem técnicas de conservação, como a desidratação, pois são altamente perecíveis (Tze et al., 2012).

A família *Cactaceae* se destaca apresentando potencial para a extração de hidrocoloides que assim como as gomas comerciais apresentam propriedades funcionais que podem ser exploradas industrialmente (De Andrade Vieira et al., 2021; Otálora et al., 2015; Muhammad et al., 2014).

Pitaya ou fruta do dragão (*Hylocereus spp.*) são nomes gerais para um grupo diversificado de gêneros da família *Cactaceae* nativas de regiões tropicais do México, América do Sul e Central; são largamente cultivadas em países asiáticos e vem sendo estimulado na região semiárida do Brasil (De Andrade Vieira et al., 2021; Muhammad et al., 2014). As cascas da pitaya apresentam em sua composição grande quantidade de polissacarídeos, sendo predominante a pectina (Jiang et al., 2021).

A pectina é um polissacarídeo largamente utilizado na indústria de alimentos, na formulação de doces, geleias e confeitaria. É classificada em dois tipos de acordo com seu grau de metoxilação dos ácidos carboxílicos, sendo de baixa metoxilação (BTM) quando abaixo de 50% e alta metoxilação (ATM) >50%. A tipologia da pectina influencia diretamente na sua aplicação, em que BTM é utilizada em formulações dietética com baixo teor de açúcar e ATM em presença muito açúcar (Coelho et al., 2018a).

A literatura expõe alguns estudos relacionados aos hidrocolóides de fontes da Família *Cactaceae*, sendo analisadas, na maioria das vezes, espécies *Opuntia* spp. e alguns cactos do bioma Caatinga. Considerando o potencial de obtenção de hidrocolóides da Família *Cactaceae*, as possíveis propriedades nutricionais e tecnológicas, e a escassez de estudos sobre a pitaya-vermelha e branca (*Hylocereus polyrhizus*) quanto presença de hidrocolóide na casca, por isso este estudo pretende extrair e avaliar o potencial do hidrocolóide natural, visando dessa forma promover um aproveitamento adequado para o mesmo, contribuir para o desenvolvimento sustentável e agregando valor aos resíduos agroindustriais essa cultura.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

— Extrair e determinar as características físico-químicas e morfológicas dos hidrocolóides obtidos da casca da pitaya-vermelha e branca (*Hylocereus polyrhizus* e *H. undatus*) para obtenção de hidrocolóide com qualidade tecnológica.

2.2 Objetivos específicos

- Extrair o hidrocolóide das cascas de pitaya-vermelha e branca;
- Determinar as melhores condições de extração desses hidrocolóides;
- Realizar cinética de secagem por convecção em estufa nas temperaturas de 50 e 60 °C e aplicar modelagem matemática aos dados da cinética de secagem;
- Analisar a capacidade antioxidante, perfil de fenólicos, minerais e ácidos orgânicos e açúcares, e cor CIELab e LCh dos hidrocolóides;
- Determinar as características estruturais dos hidrocolóides por espectrofotometria no infravermelho (FTIR) e microscopia de varredura (MEV).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pitaya

A pitaya ou fruta do dragão (Figura 1) é a fruta de uma cactácea oriunda das Américas (Norte, Central e Sul), e atualmente é muito cultivada em muitas regiões do mundo, como Malásia, Tailândia, Austrália, entre outros. O gênero *Hylocereus* abrange 14 espécies e são classificadas baseadas na cor da polpa e casca, dentre as variedades, as mais estudadas e que possuem maior valor comercial são a pitaya-branca (*Hylocereus undatus*), pitaya-vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e pitaya-amarela (*Hylocereus megalanthus*) (Jiang et al., 2021; Huang et al., 2021).

A pitaya apresenta algumas características que atraem a atenção dos consumidores e impulsiona o interesse levando a uma rápida expansão da cultura, como coloração, baixos valores calóricos e *flavor* doce. Morfologicamente, cada fruto de pitaya-branca e vermelha possuem peso em torno de 300-800 g e tamanho entre 13-22 cm, sendo composta, em média, de 47 a 73% de polpa, 36 a 37% de casca e 2 a 14% de sementes (Uslu & Özcan, 2021; Huang et al., 2021).

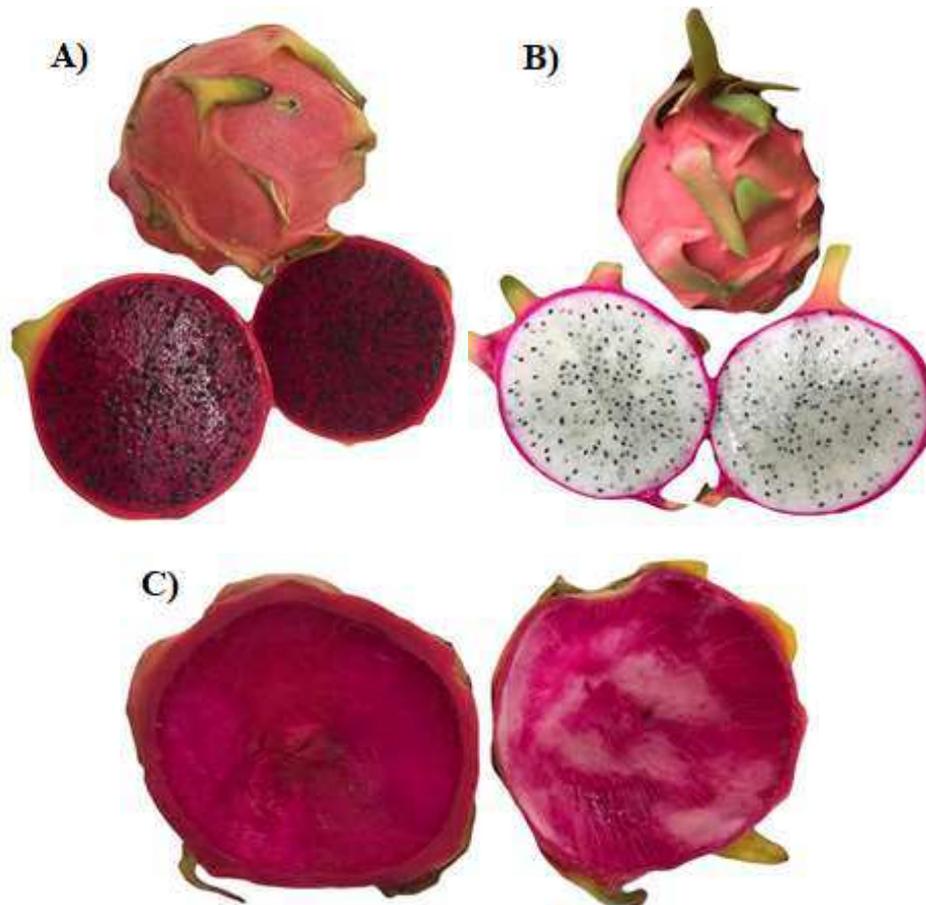
A pitaya é considerada uma fruta com grande capacidade bioativa, devido na sua composição possuir betalaínas, compostos fenólicos, polissacarídeos e terpenoides, apresenta valores farmacológicos, em que estudos reportam efeitos positivos com baixa toxicidade em enfermidades como câncer, obesidade, diabetes tipo 2 e outras síndromes metabólicas (Jiang et al., 2021). Tanto a polpa como a casca possuem componentes com valor agregado.

A vantagem do cultivo da pitaya é o potencial de desenvolvimento da agricultura em virtude da capacidade de tolerância a solos pobres de nutrientes e a longos períodos sem água (Santos et al., 2020).

Dados do Censo Agro realizado pelo IBGE em 2017 revelam que 77% da produção nacional de pitaya está concentrada em quatro estados: São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Pará. Um levantamento da produção, realizado pela Epagri e pelas cooperativas Cooperja e Coopervalesul, apontou que a safra 2020/2021 um aumento de 60% em relação à safra anterior. Dois principais fatores para esse aumento da produtividade são: Os pomares de pitaya, quando entram na fase adulta, dobram a

produção e a organização dos produtores em cooperativas proporciona melhora na produção e comercialização. As importações tem caído ao longo dos últimos anos, possivelmente essa queda tem relação com o fato de o Brasil estar produzindo internamente (SEBRAE, 2021)

Figura 1. Frutos inteiros e cortados de pitaya-vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) (A), pitaya-branca (*Hylocereus undatus*) (B) e as cascas (C).



Fonte: Autor (2023).

3.2 Hidrocoloides

O hidrocoloide é uma substância polimérica solúvel em água majoritariamente composta de polissacarídeos heterogêneos em uma estrutura altamente ramificada, que consistem da ligação de monômeros de L-arabinose, D-xilose, D-galactose, L-ramnose,

e ácido galacturônico. Apesar da composição principal ser carboidratos, há presença em menores quantidades de outros grupos, como proteínas, lipídios, minerais e água (Dybka-Stępień et al., 2021; Tosif et al., 2021). A propriedade de modificar as características reológicas e de texturas é devido à dissolução das macromoléculas de polissacarídeos, proteínas e glicoproteínas da planta para o meio aquoso (Ritzoulis, 2017). Sendo as características predominantes de cada hidrocoloide dependentes da forma de extração e principalmente, da fonte – folhas, sementes, flores, raízes (Dybka-Stępień et al., 2021).

O hidrocoloide demonstra capacidade de ser aplicada em muitos processos, seja na indústria de alimentos, farmacêutica ou de cosméticos, já que possui propriedades estruturantes, gelificantes, agente de formação de filmes, estabilizantes, entre outras (Dybka-Stępień et al., 2021). Nos dias atuais, com a tendência aproximar os produtos industrializados o mais possível dos produtos naturais, os hidrocoloides são substituintes dos polímeros sintéticos, uma vez que são seguros para o consumo humano, produtos ecológicos, sustentáveis e econômicos (Tosif et al., 2021).

3.2.1 Hidrocoloide de cactáceas

As cactáceas são uma das famílias principais produtoras de hidrocoloides, sendo possível a extração de várias partes da planta, desde flores a cladódio. Essa condição é intrínseca da fisiologia da planta e do metabolismo intracelular secundário (Vieira & Cordeiro, 2023).

Quanto a composição, os hidrocoloides de cactáceas apresentam, principalmente, carboidratos, minerais e proteínas, no qual poderá ser quantitativamente diferente de acordo com a espécie (Vieira & Cordeiro, 2023).

Em estudo, De Andrade Vieira et al. (2021) determinaram que o percentual de carboidratos entre diferentes cactáceas do bioma Caatinga variaram entre 39,77 a 87,68% a cada 100 g. Os hidrocoloides desse gênero, em suma, são classificados como polissacarídeos do tipo arabinogalactana, em que a predominância da galactose e arabinose, mas há possibilidade de alguma espécie apresentar estrutura arabinoglucana – glicose e arabinose (Salehi et al., 2019).

Os hidrocoloides de cactáceas são quantitativamente ricos em minerais, principalmente, cálcio (2,90 a 11,52 g.100 g⁻¹), potássio (0,82 a 1,5 g.100 g⁻¹) e magnésio

(0,26 a 1,24 g.100 g⁻¹), e em menor quantidade manganês (6,50 a 140,18 mg.100 g⁻¹), zinco (5,52 a 44,44 mg.100 g⁻¹) e ferro (2,64 a 36,92 mg.100 g⁻¹). Em relação as proteínas, Manhivi, Venter, Amonsou, & Kudanga (2018) identificaram a presença de 5 aminoácidos essenciais, sendo esses a leucina, isoleucina, lisina, fenilalanina, treonina e valina.

3.3 Extração do hidrocólóide

A extração de hidrocólóide, no geral, se resume as etapas de pré-tratamento da matéria-prima, hidratação e precipitação (Kamel et al., 2020). A hidratação é o estágio crítico na extração da hidrocólóide devido a possibilidade de aplicar diferentes condições, como temperatura, tempo de extração, proporção água/matéria-prima e pH; todos esses fatores irão apontar resultados distintos afetando diretamente o rendimento (Chiang et al., 2021). Soukoulis, Gaiani & Hoffmann (2018) afirmaram que o rendimento da hidrocólóide regularmente varia entre 3 a 35%, dependendo de fatores como matéria-prima e condições da extração.

A temperatura é uma variável que pode beneficiar a extração dos polissacarídeos, visto que, a hidratação sob temperaturas elevadas pode aumentar a taxa de difusão do solvente, melhorar a interação do soluto com a matriz e a viscosidade do hidrocólóide diminui e, portanto, libera-o facilmente, todavia essa condição é relativa à matéria-prima (Chiang et al., 2021). Orifici et al. (2018) reportou aumento no rendimento do hidrocólóide de chia de 5,39% na temperatura de 15 °C para 9,01% a 50 °C para 12,17% a 85 °C, enquanto Sepúlveda et al. (2007) na extração de hidrocólóide de *Opuntia ficus-indica*, a variação na temperatura de 16-40 °C proporcionou resultados semelhantes quanto ao rendimento. Aplicação de altas temperaturas também pode levar a modificação na estrutura dos polissacarídeos de cactos, por exemplo redução do peso molecular, degradação do polímero e mal formação da cadeia polimérica, consequentemente, comprometimento de sua funcionalidade (Vieira & Cordeiro, 2023). Além disso, há extração a frio pode ser aplicada para produzir hidrocólóide mais viscoso, mais natural, mas apresenta um rendimento menor quando comparada com o método de extração a quente (Tosif et al., 2021).

O tempo de hidratação também influencia na eficiência de isolamento dos polissacarídeos, embora isso não deve ser interpretado separadamente das outras

variáveis. Com o aumento do tempo de hidratação o rendimento da extração da hidrocoloide aumenta. Contudo, o acréscimo do tempo é limitado e em excesso pode resultar em degradação (Vieira & Cordeiro, 2023). Ambos Orifici et al. (2018) e Muñoz et al. (2012) reportaram que o tempo de 2 horas foi tempo o máximo de hidratação para a chia.

Para a determinação da proporção solvente/matéria-prima é importante compreender as características de ambos, então devido a propriedade hidrofílica dos polissacarídeos, a água é um dos solventes mais utilizados na extração de hidrocoloide, pois os mantém solúveis através de pontes de hidrogênio. Ao aumentar a proporção de água/matéria-prima há respectivamente aumento no rendimento da hidrocoloide, isso deve-se ao fato de que em baixas concentrações de solvente há baixa dissolubilidade dos polissacarídeos e menor difusividade da água pelas células da matriz (Vieira & Cordeiro, 2023; Tosif et al., 2021).

Na etapa de hidratação, os polissacarídeos são extraídos da matriz e interagem com o meio aquoso por ligações de ponte de hidrogênio, mantendo a solubilidade e impedindo que se agreguem. Para que haja a isolação e purificação desses polissacarídeos pode fazer-se uso de técnicas de filtragem/centrifugação e/ou agentes precipitantes (solventes orgânicos). Ao adicionar os solventes orgânicos ao meio, eles irão ligar-se entre as moléculas de água, removendo as ligações com os polissacarídeos, no qual agora irão agregar entre si e precipitar (Vieira & Cordeiro, 2023; Olawuyi, Kim & Lee, 2021; Tosif et al., 2021). Entre os solventes orgânicos podem ser utilizados etanol, metanol, isopropanol, acetona e 1-butanol (Vieira & Cordeiro, 2023).

Como os hidrocoloides são propensos a degradação microbológica, a etapa final é a desidratação. Tais processos de desidratação incluem pré-secagem usando um rotaevaporador (40-60 °C, sob pressão), secagem em estufa (40-65 °C por 2,5-24 h) e liofilização (por pelo menos 24 h em diferentes temperaturas e pressões) (Chiang et al., 2021).

Vários métodos de extração desde a extração convencional com utilização de solventes e uso de técnicas mais avançadas como extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas e extração enzimática vem sendo desenvolvidas e melhoradas para aumentar sua eficiência, a fim de aplicá-las a nível industrial (Olawuyi, Kim & Lee, 2021).

3.4 Características tecnológicas e funcionais dos hidrocoloides

Os alimentos são formados por um sistema complexo, no qual envolve diferentes componentes como água, carboidratos, lipídios, proteínas, minerais, pigmentos, aromas, entre outros materiais. Essas macromoléculas, micromoléculas e íons estão interagindo por forças eletrostáticas, pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas, que podem culminar em características indesejáveis tal como solubilidade e estabilidade reduzida, mas também podem melhorar a qualidade e funcionalidade dos alimentos. Os polissacarídeos compreendem um grande grupo de agentes estruturais que desempenham um importante papel na formação de estrutura e estabilidade de produtos alimentícios (Eghbaljoo et al., 2022).

Os hidrocoloides naturais são extensivamente aplicados como estabilizantes, espessantes, fibra dietética, substituto de gordura, além disso podem atuar como inibidor de cristalização, encapsulante e acrescentados em revestimentos e filmes comestíveis (Tosif et al., 2021). Vieira & Cordeiro (2023) afirmam que o hidrocoloide extraído de cactos demonstra grande versatilidade e possui consideráveis atributos funcionais, que a tornam um promissor agente emulsificante, espumante e estabilizante. Isso se deve a composição e estrutura química do hidrocoloide que permite absorção de água, aumento da viscosidade, formação de emulsões e retardo da aglutinação de glóbulos de gordura.

Além das propriedades tecnológicas que o hidrocoloide pode beneficiar as formulações alimentícias e farmacêuticas, os pesquisadores Tosif et al. (2021), Vieira & Cordeiro (2023) e Pirsá & Hafezi (2023) ainda elencaram outras funções que os hidrocoloides podem desempenhar no organismo humano, sendo elas: capacidade antioxidante, antimicrobiana, cicatrizante, anti-úlceras, redução de peso corporal, prevenção de câncer do colon e ação prebiótica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de desenvolvimento do experimento

A pesquisa foi conduzida nos Laboratório Experimental de Alimentos (LEA), Laboratório de Química Analítica e Laboratório de Análises de Água e Bebidas, pertencentes ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IFSertãoPE), Campus Petrolina, localizado na cidade de Petrolina, no estado de Pernambuco, Brasil.

4.2 Matéria-prima

Foram utilizados os frutos pitaya-vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e branca (*Hylocereus undatus*). As frutas foram adquiridas de fazendas da cidade de Petrolina-PE, localizada na região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco (9° 22' 22" S 40° 30' 36" O). As frutas foram lavadas e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio a 100 ppm, depois enxaguadas. Posteriormente, foram despulpadas manualmente.

4.1 Testes de extração do hidrocoloide

Para a extração do hidrocoloide, seguiu-se a metodologia de Muñoz et al. (2012), com adaptações. As cascas de pitaya-branca foram submetidas a hidratação com adição de água destilada, com proporções de 1:2 de casca:água. A trituração foi em liquidificador doméstico em velocidade máxima por um 1 min; o material foi transferido para um becker de vidro; após, a fase de hidratação (Tabela 1), foi adicionado etanol 99,9% na proporção de (1:2), até a precipitação do hidrocoloide em repouso por 24 horas a 4 °C. A separação das fases ocorreu por filtração.

Tabela 1. Tratamentos preliminares de extração do hidrocoloide de casca de pitaya-branca

Tratamentos	Fase de hidratação
T1	Temperatura ambiente (28 ± 2 °C) sem agitação
T2	Temperatura ambiente (28 ± 2 °C) com agitação
T3	Temperatura 40 °C com agitação
T4	Temperatura 80 °C com agitação

Fonte: Autor (2023).

4.2 Extração do hidrocoloide

As cascas foram trituradas e homogeneizadas em água (1:2 m/v) por 3 h a 200 rpm em incubadora shaker com agitação (ET-420, Tecnal Incubator) em temperatura ambiente (28 ± 2 °C). A precipitação do hidrocoloide foi realizada misturando etanol 99,9% com extrato aquoso a 1:2 v/v por 24 horas sob refrigeração a 4 °C. Posteriormente, as mucilagens foram secas em estufa de circulação de ar. As amostras secas foram submetidas a padronização de granulometria de 600 mesh.

4.3 Secagem convectiva

A secagem dos hidrocoloides ocorreu por meio convectivo em estufa nas temperaturas de 50 e 60 ± 2 °C. A fim de montar as curvas de secagem e determinar o tempo necessário para que o material estivesse totalmente seco, foi realizada a cinética de secagem e posteriormente, ajustados os dados experimentais aos modelos matemáticos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos matemáticos para ajuste dos dados experimentais.

Modelos	Equação empírica	Referências
Lewis	$X^* = \exp(-at)$	Kaleta & Gornicki (2010)
Page	$X^* = \exp(-at^b)$	Diamante et al. (2010)
Handerson & Pabis	$X^* = \alpha \exp(-bt)$	Diamante, Ihns, Savage, & Vanhanen (2010)
Silva et alii	$X^* = \exp(-at - b^{\sqrt{t}})$	Silva, e Silva, de Sousa, & Farias (2013)
Wang e Singh	$X^* = 1 + at + bt^2$	Kaleta & Gornicki (2010)

em que: t - tempo de secagem (min); a e b - parâmetros dos modelos.

4.4 Análises físico-químicas do hidrocoloide

4.4.1 Capacidade antioxidante por DPPH e FRAP

A capacidade antioxidante in vitro foi determinada utilizando os métodos de captura de radicais livres – DPPH e de redução do ferro por FRAP, de acordo com Kim et al. (2002) e Rufino et al. (2006), respectivamente.

A atividade do radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) foi medida através da extinção do máximo da absorção em 517 nm. O método consistirá na mistura de 100 µL do extrato com 2,90 mL de solução etanólica do radical DPPH 1,0 mM e incubação no escuro durante 30 minutos. A solução de DPPH foi diluída com etanol para uma absorbância entre 0,900 e 1,000 a 517 nm.

O reagente FRAP foi preparado por meio da mistura de 25 mL da solução de tampão acetato (300 mM; pH 3,6), 2,5 mL da solução TPTZ (10 mM TPTZ em 40 mM HCl) e 2,5 mL de FeCl₃ (20 mM) em solução aquosa. Foi adicionado 90 µL da amostra e 270 µL de água deionizada em 2,7 mL do reagente FRAP, logo após incubado a 37°C no termorreator por 30 minutos. A absorbância foi medida em 595 nm no espectrofotômetro, zerado com água. Os resultados obtidos foram comparados com uma curva padrão de sulfato ferroso nas concentrações de 100 – 2000 µmol.L⁻¹, e expressos em mmol de Fe²⁺ por litro da amostra.

As leituras da absorvância foram realizadas em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil), em cubeta de vidro de 10 mm de percurso óptico.

4.4.2 Perfil de fenólicos por HPLC-DAD

Determinado utilizando um sistema HPLC Agilent modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipado com bomba quaternária de solventes (modelo 1311C), degaseificador, compartimento de colunas termostaticado (Modelo G1316A) e amostrador automático (Modelo G1329B). Acoplado em Detector de Arranjos de Diodos (DAD) (Modelo G1315D). Os dados obtidos foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies), utilizando o procedimento analítico conforme descrito pela metodologia de Padilha et al. (2017).

4.4.3 Perfil de minerais

O perfil de minerais foi determinado em análise elementar por Espectrômetro de Emissão Atômica por Plasma de Micro-Ondas (MP-AES).

4.4.4 Perfil de ácidos e açúcares por HPLC-DAD-RID

A análise foi realizada usando um sistema de *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) da Agilent, modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EUA) equipado com uma bomba de solvente quaternário (modelo G1311C), degaseificador, compartimento da coluna (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B) acoplado a um detector de arranjo de diodos (DAD) (modelo G1315D) e detector de índice de refração (RID) (modelo G1362A). Os dados foram processados usando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies), utilizando o procedimento analítico conforme descrito pela metodologia de Coelho et al. (2018b).

4.4.5 Cor

Determinada por leitura em colorímetro Hunter Lab XEPlus (Modelo 4500 L), com sistema de cor CIELAB. As coordenadas determinadas foram: L* que representa a luminosidade, transição do branco (0) para o preto (100); a* que representa a transição da cor verde (-a*) para a cor vermelha (+a*); b* a transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*); C* que representa a cromaticidade; e h° que representa o ângulo hue.

4.5 Análises estruturais

4.5.1 Espectrofotometria no Infravermelho (FTIR)

A metodologia utilizada para a atribuição dos principais grupos funcionais foi a de De Andrade Vieira *et al.* (2021), com adaptações. Por meio de um Espectrômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (Spectrum Two; Perkin Elmer, Waltham, MA, EUA). Os hidrocoloides de casca de pitaya e padrões puros de pectina de alto metoxilação (ATM) e baixo metoxilação (BTM) (INS 440) obtidos da CPKelco (Atlanta, GA, EUA) (3 mg) foram misturadas com KBr e analisados na região de 4000–400 cm⁻¹, em transmitância, na resolução de 4 cm⁻¹ (20 varreduras). O gráfico foi plotado por meio do programa OriginPro 8.1.

4.5.2 Grau de metoxilação (GM)

O grau de metoxilação (GM) das amostras de hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB) foi determinado por espectroscopia no infravermelho transformada de Fourier (FTIR) usando a metodologia proposta por Monsoor *et al.*, (2001). Os resultados foram comparados com os espectros obtidos para padrões puros de pectina de alto metoxilação (ATM) e baixo metoxilação (BTM). Para calcular o GM das amostras, utilizou-se a equação (1):

$$GM = \frac{APGCE}{APGCE+APGCNE} \times 100 \quad (1)$$

Em que APGCE é a área do pico dos grupos carboxila esterificada (1760–1745 cm^{-1}), e APGCNE é a área do pico dos grupos carboxila não esterificados (1640–1620 cm^{-1}).

4.5.3 Morfologia dos hidrocóloides por Microscopia de Varredura (MEV)

A morfologia das partículas do extrato em pós foi analisada através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e as estruturas morfológicas fotografadas em ampliações de 50× e 100×.

4.6 Análise estatística

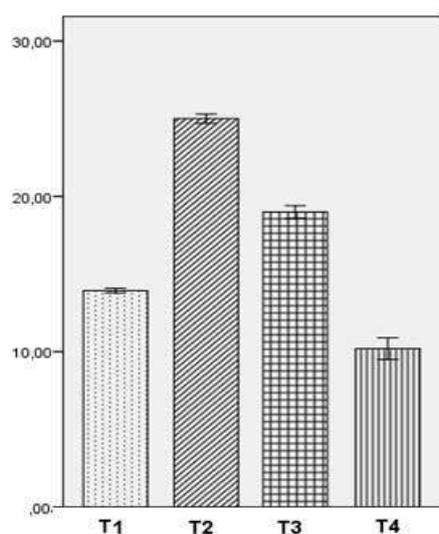
Todas as análises foram realizadas em triplicatas e os resultados alcançados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância e o teste de Tukey, que avaliou a diferença entre os pares de tratamentos entre si, isso com o auxílio do programa SPSS, versão 20.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Extração do hidrocoloide

Na Figura 2 pode ser observado o rendimento em porcentagem dos diferentes tratamentos de extração do hidrocoloide da casca de pitaya-branca.

Figura 2. Rendimento das extrações do hidrocoloide da casca de pitaya-branca.



Legenda: T1 - temperatura ambiente sem agitação; T2 - temperatura ambiente com agitação; T3 - temperatura 40 °C com agitação; T4 - temperatura 80 °C com agitação.

Fonte: Autor (2023).

Vários estudos comprovam que a extração de hidrocoloides de fontes naturais normalmente apresenta valores baixos de rendimento (Hedayati et al., 2021; Chiang et al., 2021), não ocorrendo diferente em várias matrizes da família das cactáceas, mesma da pitaya, no qual variaram entre 2,55-33,6% (De Andrade Viera et al., 2021; Cruz-Rubio et al., 2020; Dick et al., 2019; Hernández- Carranza et al., 2019). Em concordância, esse estudo obteve nas diferentes condições de extração do hidrocoloide da casca da pitaya o seguinte rendimento, 10,2 a 25%, em que o melhor tratamento foi com as condições de temperatura ambiente e aplicação de agitação (T2). De acordo com Chiang et al. (2021) a incorporação da agitação no processo aprimora a extração do hidrocoloide, pois beneficia a etapa de hidratação. A escolha do tratamento T2 apresenta outras vantagens como menor custo de execução já que será menos uma variável para controlar (calor) e

evita a degradação de compostos termo sensíveis presentes na casca da pitaya, diferente dos tratamentos T3 e T4. A aparência dos hidrocoloides estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Imagens dos hidrocoloides dos diferentes tratamentos.



Legenda: T1 - temperatura ambiente sem agitação; T2 - temperatura ambiente com agitação, T3- temperatura 40 °C com agitação; T4 - temperatura 80 °C com agitação.

Fonte: Autor (2023).

5.2 Cinética de secagem, taxa de secagem e razão de umidade

Os parâmetros obtidos a partir do ajuste dos modelos de Lewis, Page, Henderson & Pabis, Silva et alli e Wang & Singh para os dados experimentais da cinética de secagem dos hidrocoloides da casca de pitaya-branca (HB) e vermelha (HV) estão descritos na Tabela 3, assim como o coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2) para as temperaturas de secagem 50 e 60 °C.

Tabela 3. Parâmetros dos modelos, coeficiente de determinação (R^2) e função qui-quadrado (χ^2) obtidos pelo ajuste de modelos matemáticos empíricos aos dados experimentais da cinética de secagem dos hidrocoloides de cascas de pitaya-branca (HB) e vermelha (HV) nas temperaturas de 50 e 60 °C.

HB					
Modelo	T (°C)	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	χ^2
Lewis	50	0,7599x10 ⁻²	-	0,9981	0,4138x10 ⁻³
	60	0,1442x10 ⁻¹	-	0,9993	0,2947x10 ⁻²
Page	50	0,7761 x 10 ⁻²	0,9954	0,9982	0,4125x10 ⁻²
	60	0,8998x10 ⁻²	1,1187	0,9994	0,1210x10 ⁻²
Henderson & Pabis	50	0,9955	0,7540x10 ⁻²	0,9984	0,4046x10 ⁻²
	60	1,0354	0,1525x10 ⁻¹	0,9987	0,3128x10 ⁻²
Silva et alli	50	0,7430x10 ⁻²	0,1609x10 ⁻²	0,9983	0,4037x10 ⁻²
	60	0,1764x10 ⁻¹	-0,2193x10 ⁻¹	0,9997	0,6799x10 ⁻³
Wang & Singh	50	-0,5578x10 ⁻²	0,7780x10 ⁻⁵	0,9891	0,3811x10 ⁻¹
	60	-0,8773x10 ⁻²	0,1684x10 ⁻⁴	0,9588	0,1500x10 ⁻¹
HV					
Modelo	T (°C)	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	χ^2
Lewis	50	0,9462x10 ⁻²	-	0,9984	0,4621x10 ⁻²
	60	0,1199x10 ⁻¹	-	0,9989	0,6224x10 ⁻³
Page	50	0,8393x10 ⁻²	1,0227	0,9982	0,4204x10 ⁻²
	60	0,1427x10 ⁻¹	0,9586	0,9976	0,5250x10 ⁻²
Henderson & Pabis	50	1,0178	0,9764x10 ⁻²	0,9985	0,3359x10 ⁻²
	60	0,9867	0,1172x10 ⁻¹	0,9973	0,5635x10 ⁻²
Silva et alli	50	0,1023x10 ⁻¹	-0,6380x10 ⁻²	0,9984	0,3576x10 ⁻²
	60	0,1096x10 ⁻¹	0,7790x10 ⁻²	0,9977	0,1894x10 ⁻¹
Wang & Singh	50	-0,6433x10 ⁻²	0,9860x10 ⁻⁵	0,9751	0,7600x10 ⁻¹
	60	-0,7843x10 ⁻²	0,1419x10 ⁻⁴	0,9761	0,3471x10 ⁻¹

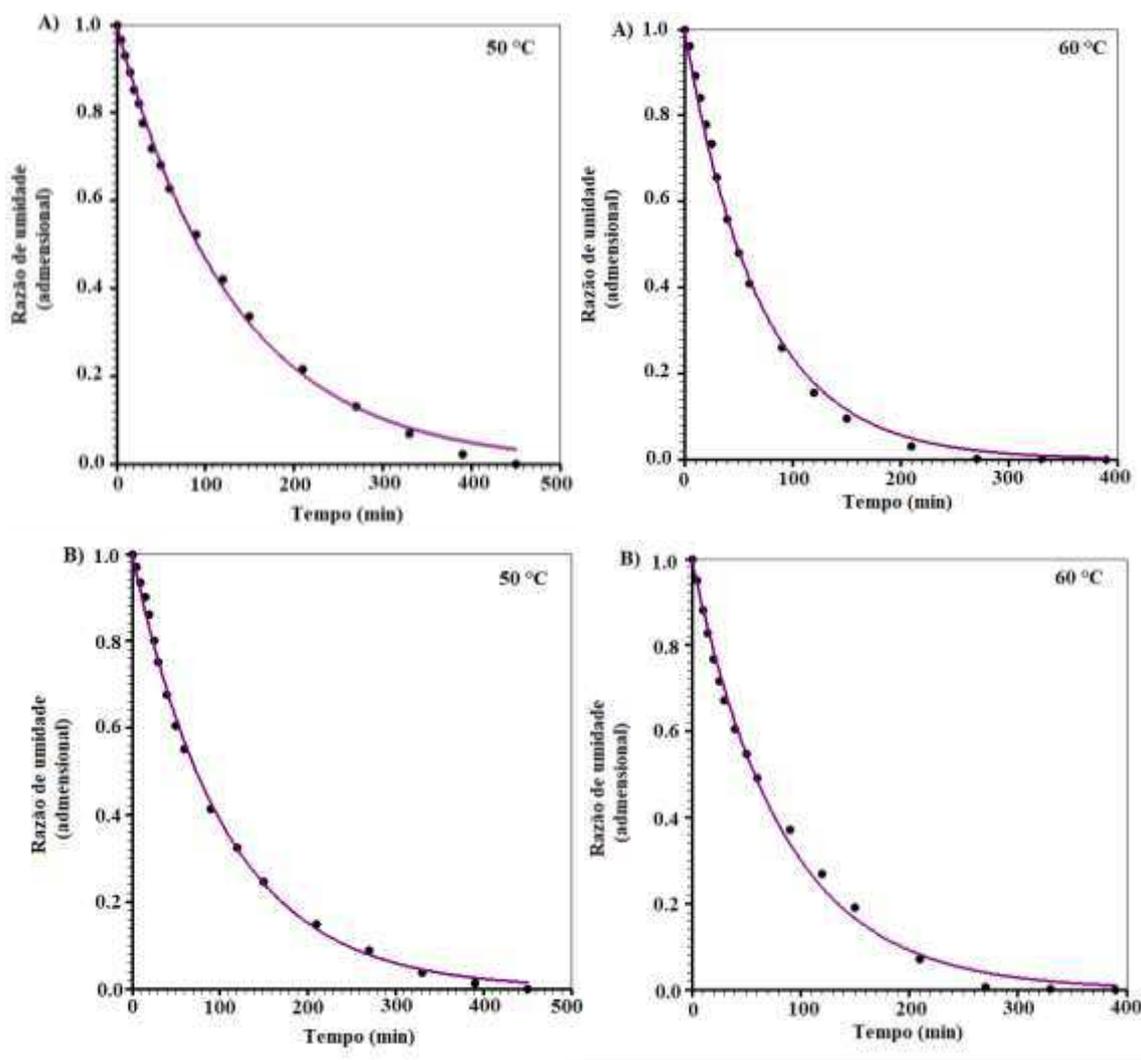
Nota: *a* e *b* são os parâmetros dos modelos matemáticos. **Fonte:** Autor (2023).

A maioria dos modelos matemáticos aplicados aos dados de secagem dos hidrocoloides demonstrou bom ajuste, apresentando o coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,9900. Wang & Singh foi o modelo que teve valores inferiores com R^2 entre 0,9588 a 0,9891, para ambos os hidrocoloides e temperaturas. Entretanto, para concluir-se com mais precisão qual o melhor modelo matemático para representação dos dados é necessário considerar mais de um parâmetro estatístico, por exemplo R^2 e qui-quadrado (χ^2), em R^2 deve ser o mais próximo de 1 e χ^2 mais próximo de zero (Almeida et al., 2020).

Considerando ambos os parâmetros estatísticos se constata que o modelo de Lewis ajustou-se melhor aos dados experimentais nas diferentes temperaturas de secagem para ambos os hidrocoloides, com R^2 acima de 0,9980 e baixos χ^2 e devido sua simplicidade, contendo apenas uma constante foi considerado como apropriado para descrever o fenômeno de secagem. Na Figura 4 pode ser observado as curvas de cinética de secagem dos hidrocoloides de casca de pitaya-branca (A) e vermelha (B) submetidos a secagem convectiva nas temperaturas de 50 e 60 °C, determinadas pelo modelo de Lewis, demonstrando o bom ajuste dos dados pelo presente modelo matemático.

A literatura apresenta poucos estudos sobre a cinética de secagem e modelagem matemática de hidrocoloides. Miranda et al. (2009) e Ayala-Apontes, Cárdenas-Nieto e Tirado (2021) aplicaram modelagem matemática em gel de Aloe Vera e obtiveram os melhores ajustes com Wang & Singh e Midili-Kuck, respectivamente. O ajuste do modelo de Lewis é similar a cinética de secagem do capim-limão na temperatura de 45 °C (Potdar, Kaur & Zalpouri, 2022).

Figura 4. Curva da cinética de secagem dos hidrocoloides da casca de pitaya-branca (A) E vermelha (B) nas temperaturas de 50 e 60 °C ajustadas ao modelo matemático de Lewis.

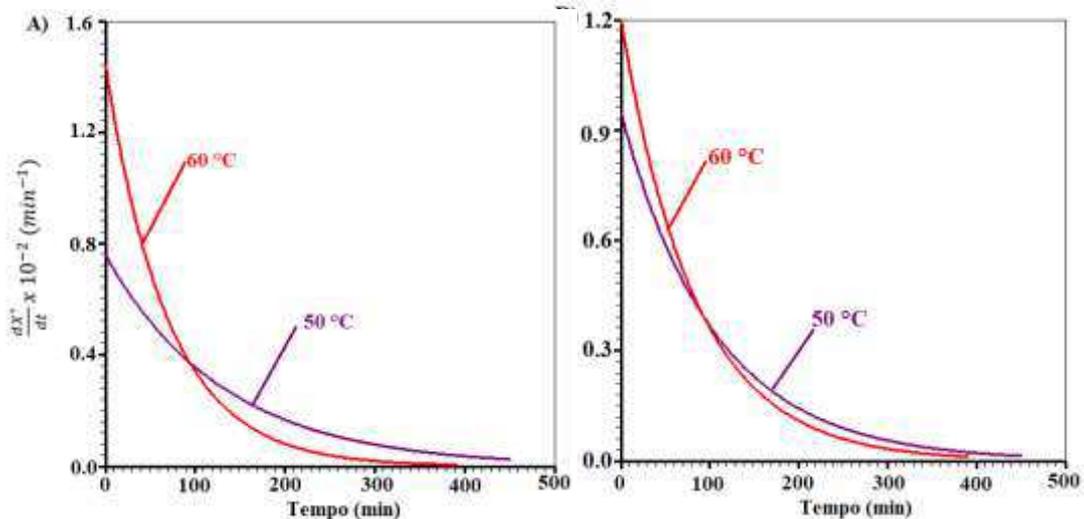


A Figura 5 mostra o comportamento da taxa de secagem dos hidrocoloides de casca de pitaya-branca e vermelha para as temperaturas de 50 e 60 °C pela derivada de Lewis.

A taxa de secagem é definida como quantidade de umidade removida por unidade de tempo a partir de um material seco por unidade da superfície de secagem, dX^*/dt (Ahmed, 2011). Percebe-se que a temperatura influencia diretamente no processo, com o aumento da temperatura, a duração da secagem decresce, por isso observa-se a redução de uma hora entre as temperaturas 50 e 60 °C para ambas as pitayas. Ademais, também há o aumento de transferência de massa (água), esse período é chamado de indução. As curvas de taxa de secagem demonstraram o período de taxa decrescente, em que há o

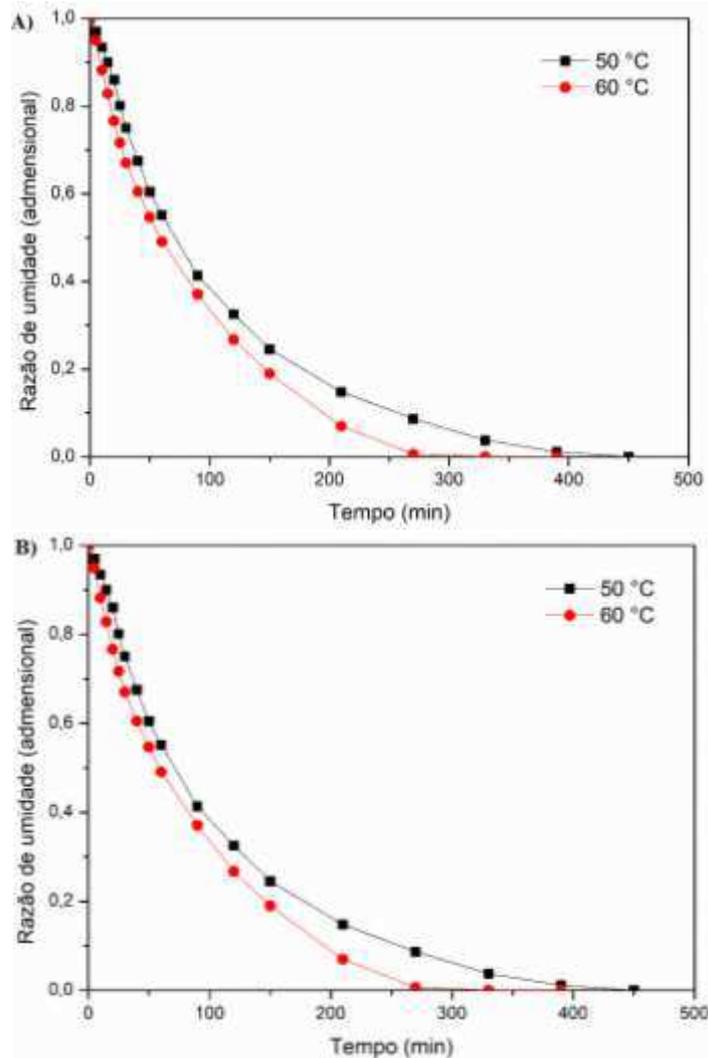
decréscimo da vaporização da água até alcançar o período de equilíbrio (Miranda et al., 2009; Keneni, Hvoslef-Eide & Marchetti, 2019; De Brito Araujo et al., 2021). Os resultados obtidos permitem afirmar que o aumento da temperatura do ar de secagem leva ao aumento da taxa de secagem, sendo que a maior taxa foi obtida para a temperaturas 60 °C.

Figura 5. Curva da taxa de secagem das hidrocoloides das cascas de pitaya-branca (A) e vermelha (B) nas temperaturas de 50 e 60 °C, calculadas pela derivada do modelo matemático de Lewis.



O mesmo comportamento é perceptível na Figura 6 que demonstra a razão da umidade em função do tempo de secagem. No período inicial a razão da umidade é próxima a 1 e com o decorrer do processo há o declínio chegando à constância, próximo a zero. Ambos os hidrocoloides possuem comportamento muito similar para a mesma temperatura. Como o esperado, a temperatura de 60 °C alcança o equilíbrio primeiro, sendo antes dos 300 minutos.

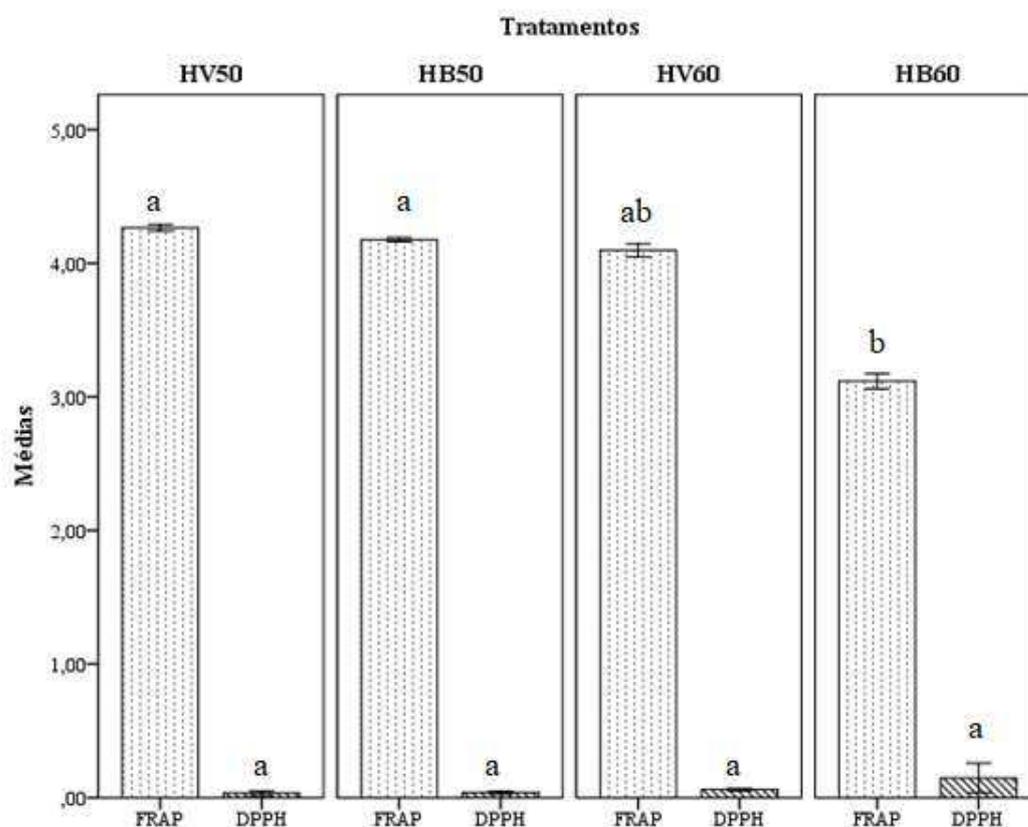
Figura 6. Razão de umidade em função do tempo de secagem das cascas de pitaya da polpa branca (A) e vermelha (B) nas temperaturas de 50 e 60 °C.



5.3 Capacidade antioxidante e perfil de fenólicos dos hidrocolóides

A Figura 7 apresenta os dados de capacidade antioxidante dos hidrocolóides de casca de pitaya-vermelha e branca secos por estufa convectiva de ar nas temperaturas de 50 e 60 °C.

Figura 7. Capacidade antioxidantes dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha e branca secos nas temperaturas de 50 e 60 °C.



AOX DPPH – Capacidade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM/L (mM TEAC Kg⁻¹). FRAP – Capacidade antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe²⁺ (mM Fe²⁺ Kg⁻¹).
 Legenda: HV50: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco a 50 °C; HB50: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco a 50 °C; HV60: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco a 60 °C; HB60: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco a 60 °C.

Fonte: Autor (2023).

O presente estudo obteve, em relação a capacidade antioxidante, valores significativamente iguais para DPPH para todos os hidrocoloides (0,02 e 0,15 mM TEAC Kg⁻¹). Enquanto FRAP, HV50 e HB50 apresentaram poder de redução do ferro maior (4,27 e 4,18 mM Fe²⁺ Kg⁻¹). Em geral, os HV, para ambas as temperaturas, apresentaram maior capacidade antioxidante.

Alguns estudos reportaram a capacidade antioxidante, como Tien et al. (2022) que apresentaram valores superiores de capacidade antioxidante por DPPH ao deste estudo para hidrocoloide de pitaya-vermelha (1,84 a 2,41 mM TEAC Kg⁻¹), enquanto Amorim et al. (2023) relataram resultados próximos de FRAP para a casca da pitaya-branca *in natura* (3,15 mM Fe²⁺ Kg⁻¹). Panwar, Panesa e Chopra (2023) relataram maior poder de

captura de radical por DPPH para a pectina de *Citrus limetta* e FRAP obteve resultados da pectina extraída superiores aos hidrocoloides de casca de pitaya ($4,52 \text{ mM Fe}^{2+} \text{ g}^{-1}$).

Em suma, considerando-se a capacidade antioxidante que não houve diferença entre os tratamentos apesar das diferentes condições de secagem, a taxa de secagem e menor exposição do material a ser seco, determina-se que a temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ é a mais adequada. Concordando com Amorim et al. (2023) ao afirmar que a temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ é amplamente aplicada aos produtos agrícolas porque é intermédia e menos prejudicial para os teores nutricionais e de antioxidantes.

Na Tabela 4 podemos encontrar os dados referentes ao perfil de fenólicos dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB) secos em estufa de circulação de ar na temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ por 390 minutos.

Tabela 4. Perfil de compostos fenólicos por HPLC-DAD dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca.

Compostos mg Kg ⁻¹	<i>Hidrocoloides</i>	
	HV	HB
<i>Flavanóis</i>		
(+) -Catequina	0,64 ± 0,01 a	0,41 ± 0,01 b
(-) -Epicatequina	nd	0,42 ± 0,02 a
(-) -Epigallocatequina galato	0,20 ± 0,03 b	0,55 ± 0,01 a
Procianidina B1	0,20 ± 0,01 b	0,29 ± 0,01 a
Procianidina B2	0,55 ± 0,02 a	0,52 ± 0,01 a
Procianidina A2	1,09 ± 0,02 a	0,52 ± 0,01 b
<i>Flavonóis</i>		
Kaempferol 3-glicosídeo	0,52 ± 0,02 b	1,20 ± 0,01 a
Miricetina	0,35 ± 0,03 b	1,38 ± 0,01 a
Isorhamnetina	3,14 ± 0,02 a	0,12 ± 0,02 b
Rutina	0,12 ± 0,02 a	0,15 ± 0,01 a
Quercetina 3-glicosídeo	0,46 ± 0,01 b	0,57 ± 0,01 a
<i>Flavononas</i>		
Hesperidina	1,34 ± 0,01 a	1,29 ± 0,02 a
<i>Ácidos fenólicos</i>		
Ácido gálico	0,29 ± 0,01 a	0,04 ± 0,04 b
Ácido caftárico	2,75 ± 0,02 a	2,38 ± 0,01 b
∑ Fenólicos	11,66 ± 0,20 a	9,85 ± 0,20 b

Os resultados são expressos em média ± desvio padrão (n = 3). ND – Não detectado. As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas com p < 0,05. Legenda: HV: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco; HB: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco.

Fonte: Autor (2023).

Vários autores concluíram que a pitaya é uma fruta rica em capacidade antioxidante e compostos fenólicos na casca (Carmen et al., 2023; Roriz et al., 2022; Attar et al., 2022), e que os polissacarídeos apresentam correlação positiva com o aumento do poder antioxidante (Yu et al., 2023), isso associado ao conteúdo esterificado da cadeia polissacarídica (Chen et al., 2022).

Foram quantificados 14 compostos fenólicos ao todo, sendo 6 flavanóis, 5 flavonóis, 1 flavonona e 2 ácidos fenólicos. Amorim et al., (2023) relataram em estudo,

a presença de 25 compostos fenólicos na casca de pitaya-branca (*Hylocereus undatus*), resultando em uma redução de 44% de compostos fenólicos identificados ao comparar com o perfil dos hidrocoloides. Os principais fenólicos nos hidrocoloides foram a isorhamnetina (3,14 mg Kg⁻¹) e procianidina A2 (1,09 mg Kg⁻¹) para HV, miricetina (1,38 mg Kg⁻¹) e kaempferol 3-glicosídeo (1,20 mg Kg⁻¹) para HB e ácido caftárico (2,38-2,75 mg Kg⁻¹) e hesperidina (1,29-1,34 mg Kg⁻¹) para ambos. Corroborando com os resultados de capacidade antioxidante, HV obteve maior valor de fenólicos totais quantificados por HPLC, que foi significativamente superior (11,66 mg Kg⁻¹) comparando com HB (9,85 mg Kg⁻¹).

Vários autores destacam que os fenólicos catequina e quercetina são os mais abundantes na casca de pitaya (Amorim et al., 2023; Uslu and Özcan, 2021; Suleria, Barrow and Dunshea, 2020). Ácidos fenólicos, flavonóis e seus glicosídeos são abundantes na família *Cactaceae*, destacando quercetina, isorhamnetina e kaempferol (Agostini-Costa, 2020). Todavia, os hidrocoloides apresentaram baixo teor de compostos fenólicos quando comparados a extratos ou a casca *in natura*.

5.4 Perfil de minerais

O perfil de minerais por MP-AES dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB) secos na temperatura de 60 °C estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5. Perfil de minerais por MP-AES dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca secos na temperatura de 60 °C.

Compostos	<i>Hidrocoloides</i>	
	HV	HB
<i>Macrominerais g Kg⁻¹</i>		
Cálcio (Ca)	11,33 ± 0,12 a	11,83 ± 0,13 a
Magnésio (Mg)	3,49 ± 0,02 a	3,44 ± 0,01 a
<i>Microminerais mg Kg⁻¹</i>		
Ferro (Fe)	33,00 ± 0,20 a	34,13 ± 0,01 a
Cobre (Cu)	20,44 ± 0,01 a	22,01 ± 0,01 a
Zinco (Zn)	52,06 ± 0,01 b	90,32 ± 0,01 a
Manganês (Mn)	63,78 ± 0,02 b	121,72 ± 0,03 a
Σ <i>Minerais g Kg⁻¹</i>	15,22 ± 0,30 a	15,80 ± 0,15 a

Os resultados são expressos em média ± desvio padrão (n = 3). As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas com $p < 0,05$. Legenda: HV: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco; HB: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco.

Fonte: Autor (2023).

Foram identificados e quantificados 6 minerais, dentre eles 2 são considerados macrominerais (Cálcio e magnésio) e 4 microminerais (Ferro, cobre, zinco e manganês). O perfil de minerais dos hidrocoloides da casca de pitaya-vermelha e branca elucidou que ambos os hidrocoloides possuem composição muito similar, apenas diferindo na quantidade de zinco e manganês, em que o HB apresentou estatisticamente maiores concentrações. Dentre os microminerais, os maiores teores, em ordem crescente, foram Mn>Zn>Fe>Cu. Jiang et al. (2021) relataram que as cascas de pitaya demonstraram altos teores de cinzas e outros estudos abordando fontes da família *Cactaceae* também ressaltaram a quantidade abundante de minerais nos hidrocoloides extraídos, com ênfase nos macrominerais cálcio (29 a 115,2 g Kg⁻¹), potássio (2,2 a 15 g Kg⁻¹) e magnésio (2,6 a 12,4 g Kg⁻¹), e microminerais manganês (65 a 1401,8 mg Kg⁻¹), zinco (56,2 a 444,4 mg Kg⁻¹) e ferro (26,4 a 369,2 mg Kg⁻¹) (De Andrade Vieira et al., 2021; Vieira & Cordeiro,

2023). Salehi et al. (2019) encontraram resultados próximos aos desse estudo no hidrocoloide da fruta de *Opuntia ficus indica*, também cactácea, para os elementos Ca (14,16 g Kg⁻¹) e Mg (2,8 g Kg⁻¹). Até então, as cinzas são componentes indesejados e quanto menor a concentração presente no hidrocoloide maior será seu nível de pureza, porém a quantidade de minerais importantes para a nutrição do corpo humano pode apresentar benefícios (Dick et al., 2019) e viabilidade para aplicação como aditivo nutricional em formulações alimentícias (Salehi et al., 2019).

5.5 Perfil de ácidos e açúcares

Na Tabela 6 podem ser observados o perfil de açúcares e ácidos orgânicos presentes nos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha e branca secos na temperatura de 60 °C.

Tabela 6. Perfil de açúcares e ácidos orgânicos por HPLC-DAD-RID dos hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca secos na temperatura de 60 °C.

Compostos g 100 g ⁻¹	<i>Hidrocoloides</i>	
	HV	HB
<i>Ácidos orgânicos</i>		
Ácido cítrico	3,60 ± 0,06 a	3,37 ± 0,03 a
Ácido málico	1,87 ± 0,02 b	4,66 ± 0,01 a
Ácido acético	2,22 ± 0,02 a	1,84 ± 0,01 a
Ácido láctico	1,75 ± 0,01 a	0,06 ± 0,02 b
Ácido fórmico	1,65 ± 0,03 a	1,15 ± 0,05 a
Σ <i>Ácidos orgânicos</i>	11,08 ± 0,30 a	11,07 ± 0,30 a
<i>Açúcares</i>		
Glicose	16,09 ± 0,13 a	13,91 ± 0,14 b
Frutose	8,67 ± 0,12 b	13,39 ± 0,13 a
Σ <i>Açúcares</i>	24,76 ± 0,27 b	27,30 ± 0,30 a

Os resultados são expressos em média ± desvio padrão (n = 3). As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas com p < 0,05. Legenda: HV: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco; HB: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco.

Fonte: Autor (2023).

Foram quantificados os ácidos cítrico, málico, acético, láctico e fórmico na composição dos hidrocolóides de casca de pitaya. Ambos os hidrocolóides apresentaram quantidade total de ácidos orgânicos semelhantes. Todavia, o principal ácido do HV foi o cítrico, enquanto HB foi málico, similar aos resultados de Ferreira et al. (2023) ao relatarem que os ácidos cítrico e málico são os ácidos orgânicos predominantes na composição da casca de pitaya. Os ácidos cítrico, acético e fórmico foram quantificados significativamente iguais para ambos, HV e HB.

Em relação aos açúcares, foram identificados e quantificados glicose e frutose, no qual HV conteve maior teor de glicose e HB mais frutose, e significativamente mais açúcares no total. Concordantemente, em estudo anterior foi reportado que o conteúdo de glicose é maior que o de frutose em pitaya-vermelha, enquanto na pitaya-branca a glicose sofre redução e a frutose aumenta (Attar et al., 2022). De acordo com Yang et al. (2023) os hidrocolóides de fontes não convencionais são neutros ou ácidos e apresentam os sacarídeos ligados aos ácidos orgânicos, contendo açúcares como galactose, glicose, frutose, xilose, ramnose e manose como principal estrutura.

5.6 Cor

Na Tabela 7 encontram-se os dados de colorimetria dos hidrocolóides de casca de pitaya-vermelha e branca úmidos e secos.

Tabela 7. Cor dos hidrocolóides de casca de pitaya-vermelha e branca.

Parâmetros	<i>Hidrocolóides</i>			
	<i>Úmidos</i>		<i>Secos</i>	
	HVU	HBU	HV	HB
L*	46,04 ± 0,35 c	49,36 ± 0,68 b	54,33 ± 1,25 a	40,27 ± 0,16 d
a*	4,17 ± 0,48 b	5,14 ± 0,06 a	4,72 ± 0,05 ab	4,75 ± 0,01 ab
b*	22,12 ± 0,18 a	21,71 ± 0,58 a	22,08 ± 0,04 a	15,84 ± 0,02 b
C*	18,77 ± 0,22 a	18,59 ± 0,48 a	18,81 ± 0,04 a	13,79 ± 0,01 b
h°	79,34 ± 1,11 a	76,66 ± 0,21 b	77,92 ± 0,11 ab	73,30 ± 0,03 c

Os resultados são expressos em média ± desvio padrão (n = 3). As letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas com p < 0,05. Legenda: HVU: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha úmido; HBU: hidrocoloide de casca de pitaya-branca úmido; HV: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco; HB: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco.

Fonte: Autor (2023).

Estimar a cor dos hidrocoloides é um importante parâmetro para o processamento de alimentos, devido estes influenciarem posteriormente na cor do produto final (De Andrade et al. 2021; Jiang et al., 2021). Em suma, os hidrocoloides da casca de pitaya (Figura 8) apresentaram valores de L^* medianos (40,27 a 54,33), baixos e positivos valores de a^* (4,17 a 5,14) tendenciando para cor vermelha e positivos valores de b^* (15,84 a 22,12) demonstrando a predominância de tons amarelados. Os valores reduzidos de C^* (13,79 a 18,81) indicam baixa saturação da cor e o ângulo hue (h°) com valores entre 73,30 a 79,34 aponta domínio da tonalidade amarela, caracterizando os hidrocoloides extraídos como levemente escuros, pálidos e amarelo avermelhados. O processo de secagem convectiva a 60 °C dos hidrocoloides não afetou os parâmetros de cor do HV, enquanto HB sofreu redução da luminosidade (L^*), da coordenada b^* , da cromaticidade (C^*) e do ângulo hue, destacando a influência que o processo na composição química. Diferentemente de outros hidrocoloides de cactáceas, HV e HB não apresentaram espectro de cor amarelo-esverdeado e luminosidade alta (De Andrade Vieira et al., 2021; Dick et al., 2019), apesar da extração utilizando etanol melhorar a despigmentação provavelmente as características mais escuras e avermelhadas podem ser resquícios de pigmentos solúveis em água, como betacianina, betaxantina ou betalaínas, das cascas de pitaya após a extração (Tien et al., 2022). Panwar, Panesar & Chopra (2023) afirmaram que a menor luminosidade, o aumento da cor avermelhada (a^*) e o amarelecimento (b^*) da pectina de *Citrus limetta* em relação a pectina comercial comprovaram a presença de compostos fenólicos e pigmentos aprisionados no interior da matriz de pectina.

Figura 8. Hidrocoloides extraídos da casca de pitaya-vermelha e branca úmido e secos a 60 °C.

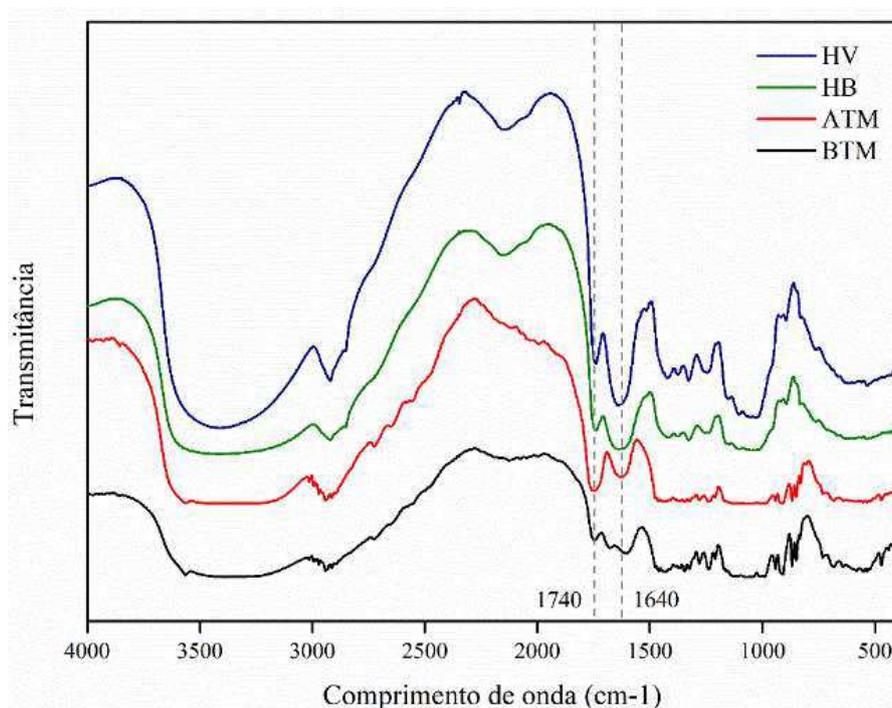


Legenda: HVU: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha úmido; HBU: hidrocoloide de casca de pitaya-branca úmido; HV: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco; HB: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco. **Fonte:** Autor (2023).

5.7 Espectroscopia no infravermelho (FTIR) e grau de metoxilação (GM)

A utilização da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) fornece evidências que permitem a identificação de grupos funcionais presentes na estrutura de um composto (Zhang et al., 2023). Os espectros dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB), e as pectinas comerciais de alta e baixa metoxilação (ATM e BTM) estão presentes na Figura 9. Não foram observadas diferenças notáveis entre os espectros dos hidrocoloides e das pectinas comerciais, apresentando comportamento de radiação-absorção semelhantes sugerindo assim que a pectina é o principal polissacarídeo presente na casca de pitaya. Bandas típicas de moléculas de pectina são identificáveis na Figura 9, como o pico largo centralizado em torno de 3410 cm^{-1} , correspondente à absorção do estiramento O–H devido as pontes de hidrogênio inter e intramolecular do ácido galacturônico; pico na região 2994 cm^{-1} , referente a absorção de C–H, incluindo CH, CH₂, CH₃ ou éster metílico em ácido galacturônico (Tien et al. 2022); e o intervalo de $1740\text{ a }1640\text{ cm}^{-1}$, associado aos ésteres carboxílicos (C=O) e ácidos carboxílicos (COO–), no qual são os principais grupos funcionais da molécula de pectina. A faixa de absorção entre $1300\text{ a }950\text{ cm}^{-1}$ é comumente referida como “impressão digital” dos carboidratos sendo identificado nessas bandas, glicose, frutose, sacarose, manose e ramnose (De Andrade Vieira et al., 2021; Rodsamrana & Sothornvita, 2019; Abid et al., 2017).

Figura 9. Espectro do FTIR dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB), e pectinas de alta (ATM) e baixa metoxilação (BTM).



Fonte: Autor (2023).

O grau de metoxilação dos hidrocoloides da casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB), e as pectinas comerciais de alta e baixa metoxilação (ATM e BTM) estão presentes na Tabela 8.

Tabela 8. Grau de metoxilação dos hidrocoloides da casca de pitaya-vermelha e branca, e pectinas comerciais de alta e baixa metoxilação.

Amostra	GM (%)
HV	73,5
HB	61,3
ATM	56,9
BTM	31,2

Legenda: HV: hidrocoloide de casca de pitaya-vermelha seco; HB: hidrocoloide de casca de pitaya-branca seco; ATM: pectina comercial de alta metoxilação; BTM: pectina comercial de baixa metoxilação.

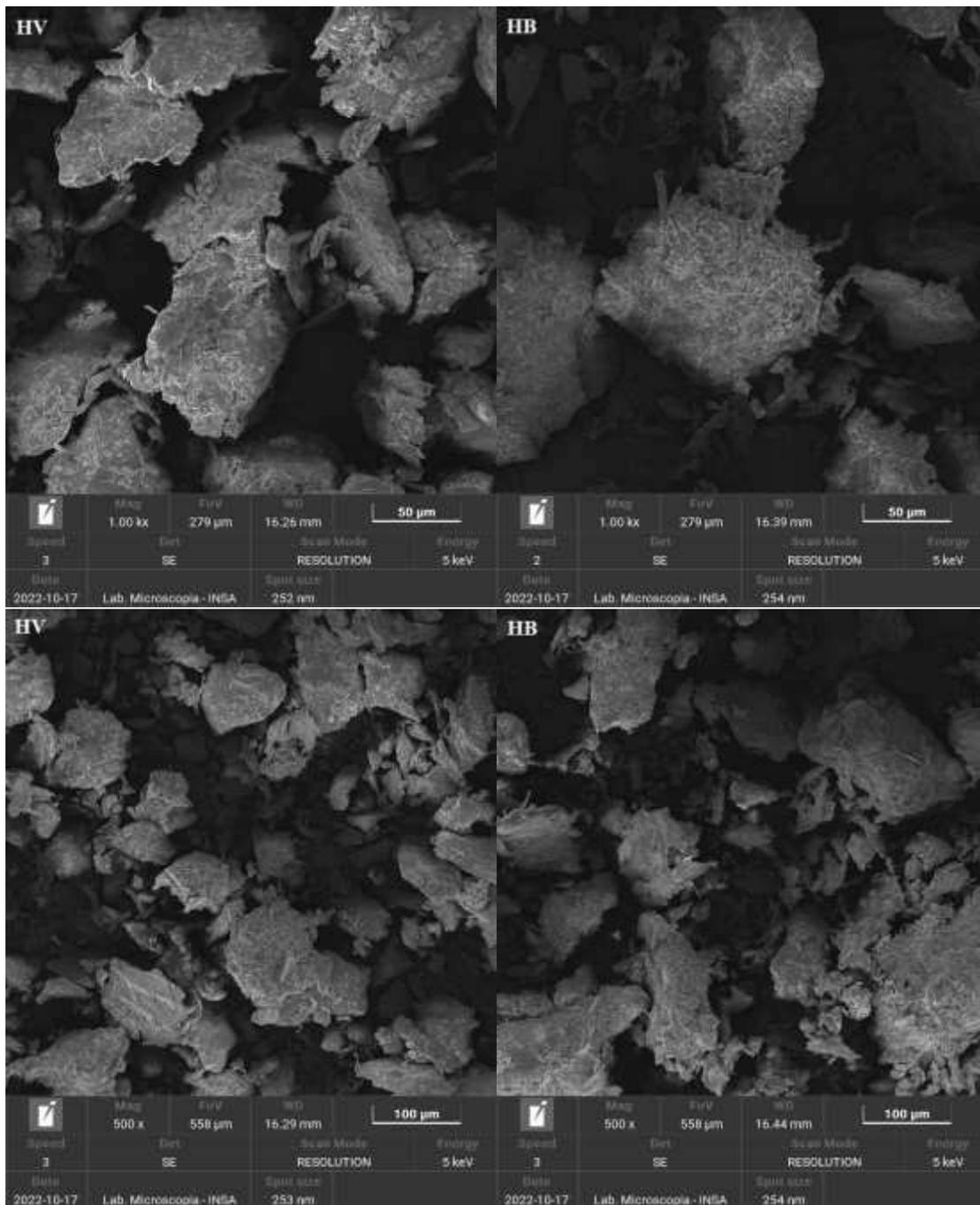
Fonte: Autor (2023).

A pectina é classificada em dois tipos de acordo com seu grau de metoxilação (GM), de baixa metoxilação (<50%) e alta metoxilação (>50%) (Abid et al., 2017). Ambos os hidrocoloides de casca de pitaya obtidos nesse estudo demonstraram características similares a pectina de alta metoxilação (ATM), com GM de 73,5% para pitaya-vermelha e 61,3% para a branca. ATM é capaz de formar gel em condições ácidas e com alto teor de açúcar, sendo ideal para aplicação em doces e geleias (Chen et al. 2022). Aumento da intensidade e área do pico dos grupos de ésteres carboxílicos (C=O) resultam em maior grau de metoxilação, apontando que >50% dos grupos carboxílicos na cadeia de ácido galacturônico estão esterificados com grupos metil e acetil (Rodsamran & Sothornvit, 2019; Abid et al., 2017; Coelho et al., 2018a). Outros estudos abordando diferentes métodos de extração da pectina, como meio acidificado e utilização de microondas foram conduzidos na casca de pitaya, Tien et al. (2022) obteve pectina de alta metoxilação com GM de 59,76% e Chen et al. (2022) o oposto com GM de 37,26%.

5.7 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um dos métodos instrumentais mais utilizados para o exame e análise da caracterização de microimagens de sólidos (Madaci et al., 2023). No presente estudo, foi aplicado a análise da morfologia dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB) nas resoluções 50 e 100 µm presentes na Figura 10. Ambos os hidrocoloides apresentaram comportamentos semelhantes, destacando as similaridades apesar de serem variedades diferentes. Os hidrocoloides demonstraram aglomerados e estruturas porosas, assim como Rodsamran & Sothornvit (2019) relataram para a casca de limão em pó. Ademais, observa-se a parede celular solta e rompida, devido ao processo de extração. Vários estudos abordaram a morfologia de materiais pectínicos, em que foram utilizadas diversas fontes como frutas cítricas, pitayas e pectinas modificadas, além de métodos de extrações diferentes, como aquecimento convencional, ultrassom, microondas e meios acidificados (Panwar, Panesar & Chopra, 2023; Li, Rao & Chen, 2023; Zhang & Cai, 2023; Chen et al., 2022; Einhorn-Stoll et al., 2020), no qual as morfologias apresentaram particularidades e foram diferentes do presente estudo. De acordo com Ge, Qiu & Zheng (2022) a metodologia aplicada para a extração da substância pectínica é crucial para o resultado, pois a estrutura microscópica de superfície do polissacarídeo está associada ao seu método de extração.

Figura 10. Imagens da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nas resoluções 50 e 100 μm dos hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB).



Fonte: Autor (2023).

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, dentre as condições de extração T2 (temperatura ambiente (28 ± 2 °C) com agitação) foram as melhores, com rendimento de 25%. O modelo matemático de Lewis explicou melhor os dados experimentais da secagem para ambas as temperaturas. A temperatura de secagem dos hidrocoloides a 60 °C apresentaram melhores condições ao correlacionar os dados de capacidade antioxidante e taxa de secagem. Em geral, ambos os hidrocoloides de casca de pitaya-vermelha (HV) e branca (HB) possuem boas características funcionais e viabilidade de aplicação como modificadores de textura m produtos alimentícios e outros ramos industriais, mas destaca-se o hidrocoloide HV em relação à sua composição superior de compostos bioativos, maior grau de esterificação da pectina e menor alterações na cor durante a secagem, proporcionando um hidrocoloide mais claro.

6 REFERÊNCIAS

- Amaral, F. M., & Southgate, A. N. N. (2018). Aplicação de hidrocoloides da elaboração da panna cotta. *Arquivos Brasileiros de Alimentação*, 3(1), 2-10.
- Attar, S., H., Gündes, li, M. A., Urün, I., Kafkas, S., Kafkas, N. E., Ercisli, S., Ge, C., Mlcek, J., & Adamkova, A. (2022). Nutritional analysis of red-purple and whitefleshed pitaya (Hylocereus) species. *Molecules*, 27(3). <https://doi.org/10.3390/molecules27030808>
- Ayala-Aponte, A.A.; Cárdenas-Nieto, J.D.; Tirado, D.F. Aloe vera Gel Drying by Refractance Window®: Drying Kinetics and High-Quality Retention. *Foods* 2021, 10, 1445. <https://doi.org/10.3390/foods10071445>
- Carmen, F., Frances, C., & Barthe, L. (2023). Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology—A critical review of advancements and processes. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.014>
- Chakraborty, S. K., Kotwaliwale, N., & Navale, S. A. (2019). Selection and incorporation of hydrocolloid for gluten-free leavened millet breads and optimization of the baking process thereof. *LWT*, 108878. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108878>
- Chen, H., Liu, Y., Zhang, J., Jiang, Y., & Li, D. (2022). Pectin extracted from dragon fruit Peel: An exploration as a natural emulsifier. *International Journal of Biological Macromolecules*, 221, 976-985. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.09.069>
- Chiang, J. H., Ong, D. S. M., Ng, F. S. K., Hua, X. Y., Tay, W. L. W., & Henry, C. J. (2021). Application of chia (*Salvia hispanica*) mucilage as an ingredient replacer in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.039>
- Coelho, E. M., de Azevêdo, L. C., Viana, A. C., Ramos, I. G., Gomes, R. G., Lima, M. D. S., & Umsza-Guez, M. A. (2018a). Physico-chemical properties, rheology and degree of esterification of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 166-173.
- Coelho, E. M., da Silva Padilha, C. V., Miskinis, G. A., de Sá, A. G. B., Pereira, G. E., de Azevêdo, L. C., & dos Santos Lima, M. (2018b). Simultaneous analysis of

- sugars and organic acids in wine and grape juices by HPLC: Method validation and characterization of products from northeast Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>
- Cruz-Rubio, J. M., Mueller, M., Loeppert, R., Viernstein, H., & Praznik, W. (2020). The effect of cladode drying techniques on the prebiotic potential and molecular characteristics of the mucilage extracted from *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia joconostle*. *Scientia Pharmaceutica*, 88(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/scipharm88040043>
- Da Silveira Agostini-Costa, T. (2020). Bioactive compounds and health benefits of Pereskioideae and Cactoideae: a review. *Food Chemistry*, 126961. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126961>
- De Andrade Vieira, É., Alves Alcântara, M., Albuquerque dos Santos, N., Duarte Gondim, A., Iacomini, M., Mellinger, C., & Tribuzy de Magalhães Cordeiro, A. M. (2021). Mucilages of cacti from Brazilian biodiversity: Extraction, physicochemical and technological properties. *Food Chemistry*, 346, 128892. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128892>
- De Brito Araújo, A.J.B., Silva, W.P., Moreira, I.S., Santos, N.C. (2021). Effect of drying temperature on the physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of “Palmer” mango peels. *J. Food Process Eng.* 44(11), e13860. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13860>
- Diamante, L. M., Ihns, R., Savage, G. P., & Vanhanen, L. (2010). A new mathematical model for thin layer drying of fruits. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(9), 1956–1962. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02345.x>
- Dick, M., Limberger, C., Cruz Silveira Thys, R., de Oliveira Rios, A., & Hickmann Flôres, S. (2020). Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. *Food Chemistry*, 314, 126178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126178>.
- Dybka-Stępień, K., Otlewska, A., Gózdź, P., & Piotrowska, M. (2021). The renaissance of plant mucilage in health promotion and industrial applications: A review. *Nutrients*, 13(10), 3354. <https://doi.org/10.3390/nu13103354>

- Eghbaljoo, H., Sani, I. K., Sani, M. A., Rahati, S., Mansouri, E., Molaee-Aghaee, E., Fatourehchi, N., Kadi, A., Arab, A., Sarabandi, K., Samborska, K., & Jafari, S. M. (2022). Advances in plant gum polysaccharides; Sources, techno-functional properties, and applications in the food industry - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 2327-2340. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.020>
- Einhorn-Stoll, U., Kastner, H., Fatouros, A., Krähmer, A., Kroh, L. W., & Drusch, S. (2020). Thermal degradation of citrus pectin in low-moisture environment – Investigation of backbone depolymerisation. *Food Hydrocolloids*, 107, 105937. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105937>
- Ge, Y., Qiu, H., & Zheng, J. (2022). Physicochemical characteristics and anti-hyperlipidemic effect of polysaccharide from BaChu mushroom (*Helvella leucopus*). *Food Chemistry*: X, 15, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100443>
- Hedayati, S., Niakousari, M., Babajafari, S., & Mazloomi, S. M. (2021). Ultrasound-assisted extraction of mucilaginous seed hydrocolloids: Physicochemical properties and food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 118, 356-361. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.022>
- Hernández-Carranza, P., Rivadeneyra-Mata, M., Ramos-Cassellis, M. E., Aparicio Fernandez, X., Navarro-Cruz, A. R., Ávila-Sosa, R., et al. (2019). Characterization of red prickly pear peel (*Opuntia ficus-indica* L.) and its mucilage obtained by traditional and novel methodologies. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 1111–1119. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-00026-y>
- Huang, Y., Brennan, M.A.; Kasapis, S., Richardson, S.J., & Brennan, C.S. (2021). Maturation Process, Nutritional Profile, Bioactivities and Utilisation in Food Products of Red Pitaya Fruits: A Review. *Foods*, 10, 2862. <https://doi.org/10.3390/foods10112862>
- Jiang, H., Zhang, W., Li, X., Shu, C., Jiang, W., & Cao, J. (2021). Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 199–217. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.040>

- Kaleta, A., & Gornicki, K. (2010). Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(5), 891–898. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02230.x>
- Kamel, R., Afifi, S. M., Kassem, I. A. A., Elkasabgy, N. A., & Farag, M. A. (2020). Arabinoxylan and rhamnogalacturonan mucilage: Outgoing and potential trends of pharmaceutical, environmental, and medicinal merits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2550–2564. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.17>
- Keneni, Y. G., Hvoslef-Eide, A. K. (Trine), & Marchetti, J. M. (2019). Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* L. seeds. *Industrial Crops and Products*, 132, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.012>
- Kim, Y. K., Guo, Q., & Packer, L. (2002). Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts. *Toxicology*, 172(2), 149–156. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(01\)00585-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00585-6)
- Li, H., Rao, J., & Chen, B. (2023). Tyramine modification of high and low methoxyl pectin: Physicochemical properties, antioxidant activity, and gelation behavior. *Food Hydrocolloids*, 108949. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108949>
- Madaci, A., Ferkous, H., Sedik, A., Delimi, A., Boulechfar, C., Belakhdar, A., ... & Benguerba, Y. (2023). Experimental and theoretical study of polysaccharides extracted from prickly pear nopales Pulp (PPUN) of *Opuntia ficus-indica* as corrosion inhibitors. *Journal of Molecular Liquids*, 122272. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122272>
- Manhivi, V. E., Venter, S., Amonsou, E. O., & Kudanga, T. (2018). Composition, thermal and rheological properties of polysaccharides from amadumbe (*Colocasia esculenta*) and cactus (*Opuntia* spp.). *Carbohydrate Polymers*, 195, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.062>
- McClements, D. J. (2020). Food hydrocolloids: Application as functional ingredients to control lipid digestion and bioavailability. *Food Hydrocolloids*, 106404. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106404>
- Miranda, M., Maureira, H., Rodríguez, K., & Vega-Gálvez, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 297–304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.09.007>

- Monsoor, M. A., Kalapathy, U., & Proctor, A. (2001). Improved method for determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 49(6), 2756-2760. <https://doi.org/10.1021/jf0009448>
- Muhammad, K., Mohd. Zahari, N. I., Gannasin, S. P., Mohd. Adzahan, N., & Bakar, J. (2014). High methoxyl pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Food Hydrocolloids*, 42, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.021>
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.03>
- Olawuyi, I. F., Kim, S. R., & Lee, W. Y. (2021). Application of plant mucilage polysaccharides and their techno-functional properties' modification for fresh produce preservation. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118371. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118371>
- Orifici, S. C., Capitani, M. I., Tomás, M. C., & Nolasco, S. M. (2018). Optimization of mucilage extraction from chia seeds (*Salvia hispanica* L.) using response surface methodology. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(12), 4495–4500. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8974>
- Otálora, M. C., Carriazo, J. G., Osorio, C., & Nazareno, M. A. (2018). Encapsulation of cactus (*Opuntia megacantha*) betaxanthins by ionic gelation and spray drying: A comparative study. *Food Research International*, 111, 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.058>
- Padilha, C. V. da S., Miskinis, G. A., de Souza, M. E. A. O., Pereira, G. E., de Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T., & Lima, M. dos S. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, 228, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.137>
- Panwar, D., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2023). Ultrasound-assisted extraction of pectin from Citrus limetta peels: Optimization, characterization, and its comparison with commercial pectin. *Food Bioscience*, 51, 102231. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102231>

- Pirsa, S. & Hafezi, K. (2023). Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*, 399, 133967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133967>
- Potdar, P. P., Kaur, P., Zalpouri, R., & Ummat, V. (2022). Convective and pulsed microwave drying of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) shreds: Kinetic modeling, retention of bio-actives, and oil yield. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e16914. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16914>
- Ritzoulis, C. (2016). Mucilage formation in food: a review on the example of okra. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(1), 59–67. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13270>
- Rodsamran, P., & Sothornvit, R. (2018). Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.06>
- Roriz, C.L., Heleno, S.A., Alves, M.J., Oliveira, M.B.P.P., Pinela, J., Dias, M.I., Calhella, R.C., Morales, P., Ferreira, I.C.F.R., Barros, L. (2022). Red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel as a source of valuable molecules: extraction optimization to recover natural colouring agents. *Food Chem.* 372, 131344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131344>
- Rufino, M. D. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S DE., Filho, J. M., & Moreira, A. V. B. (2006). Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas no Sistema β -caroteno/Ácido Linoléico. Comunicado Técnico, 126, 1–4. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664093/1/cot126.pdf>.
- Salehi, E., Emam-Djomeh, Z., Askari, G., & Fathi, M. (2019). *Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 206, 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.035>
- Santos, G.B.M, Dionísio, A.P., Magalhães, H.C.R., Abreu, F.A.P., Lira, S.M., Lima, A.C.V, ... Zocolo, G.J. (2019). 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*, 108710. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108710>
- Sepúlveda, E., Saenz, C., Aliaga, E., & Aceituno, C. (2007). Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. *Journal of Arid Environments*, 68(4), 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.08.001>
- Silva, W. P., e Silva, C. M., de Sousa, J. A., & Farias, V. S. (2013). Empirical and diffusion models to describe water transport into chickpea (*Cicerarietinum* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2),267–273. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03183.x>
- Soukoulis, C., Gaiani, C., & Hoffmann, L. (2018). Plant seed mucilage as emerging biopolymer in food industry applications. *Current Opinion in Food Science*, 22, 28–42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.004>
- Suleria, H. A., Barrow, C. J., & Dunshea, F. R. (2020). Screening and characterization of phenolic compounds and their antioxidant capacity in different fruit peels. *Foods*, 9(9), 1206. <https://doi.org/10.3390/foods9091206>
- Tien, N. N. T., Le, N. L., Khoi, T. T., & Richel, A. (2022). Characterisation of dragon fruit peel pectin extracted with natural deep eutectic solvent and sequential microwave-ultrasound-assisted approach. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(6), 3735-3749. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15699>
- Tosif, M. M., Najda, A., Bains, A., Kaushik, R., Dhull, S. B., Chawla, P., & Walasek-Janusz, M. (2021). A Comprehensive Review on Plant-Derived Mucilage: Characterization, Functional Properties, Applications, and Its Utilization for Nanocarrier Fabrication. *Polymers*, 13(7), 1066. <https://doi.org/10.3390/polym13071066>
- Tze, N. L., Han, C. P., Yusof, Y. A., Ling, C. N., Talib, R. A., Taip, F. S., & Aziz, M. G. (2012). Physicochemical and nutritional properties of spray-dried pitaya fruit powder as natural colorant. *Food Science and Biotechnology*, 21(3), 675–682. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0088-z>
- Uslu, N., & Özcan, M. M. (2021). The effect of ultrasound-vacuum-assisted extraction on bioactive properties of pitaya (*Hylocereus undatus*). *International Journal of Food Science & Technology*, 56(12), 6618-6625.

- Vieira, É. de A., Cordeiro, A. M. T. de M. (2023). Bioprospecting and potential of cactus mucilages: A bibliometric review. *Food Chemistry*, 401, 134121, <https://doi.org/10.1016/j.foodch>
- Yu, Z. R., Weng, Y. M., Lee, H. Y., & Wang, B. J. (2023). Partition of bioactive components from red pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels into different fractions using supercritical fluid fractionation technology. *Food Bioscience*, 51, 102270. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102270>
- Zhang, J., Li, F., Shen, S., Yang, Z., Ji, X., Wang, X., ... & Zhang, Y. (2023). More simple, efficient and accurate food research promoted by intermolecular interaction approaches: A review. *Food Chemistry*, 135726. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135726>
- Zhang, M. Y., & Cai, J. (2023). Preparation of branched RG-I-rich pectin from red dragon fruit peel and the characterization of its probiotic properties. *Carbohydrate Polymers*, 299, 120144. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120144>