



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**EXTRATO DE BETALAÍNAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE PITAYA:
CARACTERIZAÇÃO, MICROENCAPSULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SUA
ESTABILIDADE**

THAÍS REGINA RODRIGUES VIEIRA

Recife, PE

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

THAÍS REGINA RODRIGUES VIEIRA

**EXTRATO DE BETALAÍNAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE PITAYA:
CARACTERIZAÇÃO, MICROENCAPSULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SUA
ESTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos, da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco, como requisito parcial
para obtenção do Título de Mestre em
Ciência e Tecnologia de Alimentos

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a. MARIA INÊS SUCUPIRA MACIEL

Recife, PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- T364e VIEIRA, THAÍS REGINA RODRIGUES
EXTRATO DE BETALAÍNAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE PITAYA :
CARACTERIZAÇÃO, MICROENCAPSULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SUA ESTABILIDADE /
THAÍS REGINA RODRIGUES VIEIRA. - 2022.
86 f. : il.
- Orientadora: MARIA INES SUCUPIRA MACIEL.
Coorientador: - -.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife, 2022.
1. Cactaceae. 2. Métodos Emergentes de Extração. 3. Microencapsulação. I. MACIEL, MARIA
INES SUCUPIRA,
orient. II. -, -, coorient. III. Título

CDD 664

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**EXTRATO DE BETALAÍNAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE PITAYA:
CARACTERIZAÇÃO, MICROENCAPSULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SUA
ESTABILIDADE**

Por Thaís Regina Rodrigues Vieira

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em 10/02/2022 pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos em sua forma final.

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Maria Inês Sucupira Maciel
Orientadora
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Daniel Perrone Moreira
Membro Interno Titular
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Renata Valeriano Tonon
Membro Interno Titular
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Adriana Dillenburg Meinhart
Membro Externo Titular
Universidade Federal de Pelotas

Aos meus pais e família, que
sempre me apoiaram em
todas as circunstâncias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, que esteve, está e estará no centro da minha existência para todo o sempre e que por tantas vezes esteve atento às minhas orações, me guiando e me mostrando o melhor caminho a seguir.

Aos meus pais que sempre foram peças essenciais no crescimento e desenvolvimento do ser humano que sou hoje. Amo vocês imensamente!

Aos meus familiares de perto e de longe, que sempre torceram por meu crescimento pessoal e profissional e sempre me impulsionaram. Vocês são fundamentais, incríveis e muito importantes!

Aos meus amigos de infância, em especial a Tati, Fabrielly, Duda e Wagner, aos que tive o prazer de criar laços durante a vida acadêmica e aos que cultivei durante a vida. Vocês são demais e fizeram minhas manhãs e tardes mais alegres e leves!

Agradeço em especial à amizade e parceria de Michelle, Amanda, Eduardo, Marcony, Vitória, Sâmia e Christine, vocês são incríveis!

A todo o corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial a minha orientadora Maria Inês Sucupira Maciel. Muito obrigada!

A todos os técnicos de laboratório e administrativos, em especial a Wellington Francisco que me acolheu tão bem. Vocês foram essenciais durante a caminhada!

Agradeço em especial à Professora Priscilla Medeiros e a todos que trabalham na Fazenda Santa Fé, pela receptividade e disponibilização de matéria-prima para a execução da pesquisa. Muito obrigada!

Agradeço ao Nelson e família, que me incentivaram bastante durante a jornada.

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco, que me acolheu não apenas durante a graduação, mas também durante a pós-graduação, fornecendo toda a infraestrutura necessária para o desenvolvimento da pesquisa e obtenção do meu título de mestre.

Agradeço ao CENAPESQ por oferecer infraestrutura necessária para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Agradeço à CAPES, não apenas pelo programa de bolsas, mas principalmente por incentivar a pesquisa no Brasil.

A todos e todas, o meu muito obrigada!

“Assim, fixamos os olhos, não naquilo que se vê, mas no que
não se vê,
pois o que se vê é transitório, mas o que não se vê é
eterno”.

2 Coríntios 4:18

RESUMO

O crescente interesse global por alimentos funcionais fornece subsídio ao desenvolvimento e aplicação de tecnologias emergentes na extração de compostos bioativos e a pitaya tem se destacado devido a presença destes compostos. O objetivo deste trabalho foi extrair betalaínas e compostos fenólicos de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) utilizando extração assistida por ultrassom (EAU), microencapsular o extrato e realizar o estudo da estabilidade. A influência das condições de EAU sobre o teor de betalaínas e compostos fenólicos foi analisada utilizando planejamento experimental de 2^3 composto por 8 pontos fatoriais e 3 pontos centrais. Avaliou-se a influência da concentração de etanol (30, 50 e 70%), razão de solvente/amostra (40, 50 e 60 mL/g) e tempo de imersão em ultrassom (10, 15 e 20 minutos) sobre o teor de betalaínas e compostos fenólicos do extrato da polpa de pitaya obtido por ultrassom (EPPU). Para a microencapsulação por atomização utilizou-se o extrato nas melhores condições de extração. A microencapsulação foi realizada de acordo com condição disponível na literatura: maltodextrina 10 DE, temperatura de entrada (165 °C), temperatura de saída (80 °C), vazão de alimentação (0,60 L/h), bico injetor (1,2 mm), fluxo de ar (30 m³/h) e pressão do ar (0,6 bar). Avaliou-se a estabilidade do extrato de polpa de pitaya microencapsulado (EPPM) armazenado em sacos plásticos laminados pelo período de 90 dias sob temperatura de 25 ± 1 °C. Para a extração de betalaínas o modelo não foi considerado preditivo, enquanto que a extração de compostos fenólicos foi influenciada pela variável tempo. As condições selecionadas para a extração de betalaínas e compostos fenólicos da polpa de pitaya foram concentração de etanol (30%), razão solvente/amostra (40 mL/g) e tempo (20 minutos). O EPPM apresentou $A_w=0,15$, UR=4,15%, pH=4,37, AT=0,55g/100g, cor ($L^*=77,17$, $C^*=30,67$, $H^\circ=17,77$), densidade aparente=0,46g/mL, densidade absoluta=1,06g/mL, porosidade=0,50 ε , solubilidade=98,47%, higroscopicidade=13,62g/100g, eficiência da encapsulação para betalaínas=94,94% e para compostos fenólicos=60,75%. O EPPM apresentou rendimento de 17,21%, retenção de betalaínas=33,63% e de compostos fenólicos=12,54%. Após 90 dias de estabilidade, o EPPM apresentou 14,28% de perda para betalaínas e 11,88% para compostos fenólicos. Este fator pode ser justificado pelo aumento da umidade do microencapsulado e oxidação dos compostos. O EPPM apresentou características físicas e físico-químicas favoráveis, elevado teor de betalaínas e compostos fenólicos, com potencial para ser utilizado como ingrediente, ou mesmo pigmento funcional nas indústrias de alimentos e farmacêuticas.

Palavras-chave: *Cactaceae*; Métodos Emergentes de Extração; Microencapsulação.

ABSTRACT

The growing global interest in functional foods provides support for the development and application of emerging technologies in the extraction of bioactive compounds and pitaya has stood out due to the presence of these compounds. The objective of this work was to extract betalains and phenolic compounds from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) using ultrasound-assisted extraction (UAE), microencapsulate the extract and carry out a stability study. The influence of UAE conditions on the content of betalains and phenolic compounds was analyzed using an experimental design of 2^3 consisting of 8 factorial points and 3 central points. The influence of ethanol concentration (30, 50 and 70%), solvent/sample ratio (40, 50 and 60 mL/g) and ultrasound immersion time (10, 15 and 20 minutes) on the of betalains and phenolic compounds of the pitaya pulp extract obtained by ultrasound (PPEU). For microencapsulation by spraying, the extract was used under the best extraction conditions. The microencapsulation was performed according to the conditions available in the literature: maltodextrin 10 DE, inlet temperature (165 °C), outlet temperature (80 °C), feed flow (0.60 L/h), injection nozzle (1.2 mm), air flow (30 m³/h) and air pressure (0.6 bar). The stability of the microencapsulated pitaya pulp extract (MPPE) stored in laminated plastic bags for a period of 90 days at a temperature of 25 ± 1 °C was evaluated. For the extraction of betalains, the model was not considered predictive, while the extraction of phenolic compounds was influenced by the time variable. The conditions selected for the extraction of betalains and phenolic compounds from pitaya pulp were ethanol concentration (30%), solvent/sample ratio (40 mL/g) and time (20 minutes). The EPPM showed $A_w=0.15$, $RH=4.15\%$, $pH=4.37$, $AT=0.55g/100g$, color ($L^*=77.17$, $C^*=30.67$, $H^\circ=17.77$), apparent density=0.46g/mL, absolute density=1.06g/mL, porosity=0.50 ϵ , solubility=98.47%, hygroscopicity=13.62g/100g, encapsulation efficiency for betalains=94.94% and for phenolic compounds=60.75%. EPPM showed a yield of 17.21%, retention of betalains=33.63% and phenolic compounds=12.54%. After 90 days of stability, MPPE showed 14.28% loss for betalains and 11.88% for phenolic compounds. This factor can be explained by the increase in microencapsulated moisture and oxidation of the compounds. MPPE presented favorable physical and physicochemical characteristics, high content of betalains and phenolic compounds, with potential to be used as an ingredient, or even functional pigment in the food and pharmaceutical industries.

Keywords: *Cactaceae*; Emerging Methods of Extraction; Microencapsulation.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Planta de pitaya vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	23
Figura 2. Fruto de pitaya vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	24
Figura 3. Estrutura química das betalaínas	26
Figura 4. Estrutura química dos compostos fenólicos	28

ARTIGO 1

Figura 1. Casca e polpa de pitaya vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	56
Figura 2. Diagrama de pareto para o teor de betalaínas nos extratos de polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) obtidos por extração assistida por ultrassom.....	59
Figura 3. Diagrama de pareto para os teores de compostos fenólicos nos extratos de polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) obtidos por extração assistida por ultrassom.....	60
Figura 4. Extrato de polpa de pitaya microencapsulado	65
Figura 5. Teor total de betalaínas (mg/g) no extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C	70
Figura 6. Teor de compostos fenólicos (mg EAG/g) do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C	71
Figura 7. Umidade (%) do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C.....	72
Figura 8. Atividade de água do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C.....	73
Figura 9. pH do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C.....	73
Figura 10. Extrato microencapsulado de pitaya ao longo de 90 dias de armazenamento a 25 °C	74

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Composição química da polpa de pitaya	25
--	----

ARTIGO 1

Tabela 1. Planejamento experimental codificado e decodificado da extração assistida por ultrassom de betalaínas e compostos fenólicos de pitaya vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)..	50
Tabela 2. Composição centesimalquímica da casca e polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) <i>in natura</i> (g/100 g base úmida)	55
Tabela 3. Caracterização físico-química da casca e polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) <i>in natura</i>	56
Tabela 4. Compostos bioativos da casca e polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) <i>in natura</i> (100 g)	57
Tabela 5. Extratos de betalaínas e compostos fenólicos da casca e polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) obtidos por extração assistida por ultrassom	58
Tabela 6. Planejamento experimental e ANOVA para a extração assistida por ultrassom de betalaínas e compostos fenólicos de polpa de pitaya	58
Tabela 7. Características físico-químicas do extrato de polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) otimizado obtido por extração assistida por ultrassom e por extração convencional	62
Tabela 8. Teores de betalaínas e compostos fenólicos nos extratos de polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) obtidos por extração assistida por ultrassom e por extração convencional.....	63
Tabela 9. Características físico-químicas do extrato de polpa de pitaya microencapsulado ..	64
Tabela 10. Características físicas do extrato de polpa de pitaya microencapsulado	65
Tabela 11. Eficiência da encapsulação do extrato de polpa de pitaya rico em betalaínas e compostos fenólicos	67
Tabela 12. Quantificação de compostos bioativos, retenção (%) e rendimento (%) no extrato de polpa de pitaya microencapsulado	68
Tabela 13. Atividade antioxidante do extrato de polpa de pitaya (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) obtido por extração assistida por ultrassom e microencapsulado	69

Tabela 14. Cor do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25°
C..... 75

LISTA DE ABREVIATURAS

AOAC – Associação Oficial de Químicos Analíticos (Association of Official Analytical Chemists)

Aw – Atividade de água

Bc – Betacianinas

Bet – Betalaínas

Bx – Betaxantinas

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CENAPESQ – Centro de Apoio à Pesquisa

CF – Compostos fenólicos

DE – Dextrose equivalente

EAG – Equivalente de ácido gálico

EAU – Extração assistida por ultrassom

EE – Eficiência da encapsulação

EPPU – Extrato de polpa de pitaya obtido por extração assistida por ultrassom

EPPC – Extrato de polpa de pitaya obtido por extração convencional

EPPM – Extrato de polpa de pitaya microencapsulado

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FRAP - Capacidade de redução de ferro do plasma (Ferric Reducing Antioxidant Power)

HPLC – Cromatografia líquida de alta performance (High Performance Liquid Chromatography)

KHz – Quilohertz

MeOH – Metanol

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (The Organization for Economic Co-operation and Development)

pH – Potencial hidrogeniônico

PVC – Policloreto de vinila

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 Geral.....	20
2.2 Específicos	20
3. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESES	21
4. REVISÃO DE LITERATURA	22
4.1 Produção de frutas	22
4.2 Pitaya	22
4.3 Betalaínas.....	26
4.4 Compostos Fenólicos.....	28
4.5 Extração assistida por ultrassom (EAU).....	29
4.6 Microencapsulação	31
REFERÊNCIAS.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
ARTIGO 1 – EXTRATO DE BETALAÍNAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE POLPA DE PITAYA OBTIDO POR ULTRASSOM: CARACTERIZAÇÃO, MICROENCAPSULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SUA ESTABILIDADE	41
RESUMO.....	42
5.1 INTRODUÇÃO	44
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
5.2.1 Material.....	46
5.2.2 Obtenção da polpa e casca de pitaya <i>in natura</i> e liofilizada.....	46
5.2.3 Caracterização química da polpa e casca <i>in natura</i>	47
5.2.4 Caracterização físico-química da polpa e casca de pitaya <i>in natura</i>	47
5.2.5 Teor de betalaínas	48
5.2.6 Teor de compostos fenólicos	48
5.2.7 Teor de ácido ascórbico	48

5.2.8 Teor de carotenóides	49
5.2.9 Ensaios preliminares para a extração assistida por ultrassom e extração convencional	49
5.2.10 Extração assistida por ultrassom e extração convencional	49
5.2.11 Caracterização físico-química do extrato da polpa de pitaya selecionado	50
5.2.12 Caracterização de compostos bioativos do extrato da polpa de pitaya selecionado ..	50
5.2.13 Atividade antioxidante	51
5.2.14 Microencapsulação por atomização do extrato de betalaínas e compostos fenólicos da polpa de pitaya	51
5.2.15 Caracterização físico-química do extrato de polpa de pitaya microencapsulado (EPPM)	52
A caracterização físico-química do EPPM foi determinada de acordo com o item 5.2.4. ...	52
5.2.16 Caracterização física do EPPM.....	52
5.2.16.1 Densidade Aparente.....	52
5.2.16.2 Densidade Absoluta	52
5.2.16.3 Porosidade Intragranular (ϵ)	52
5.2.16.4 Solubilidade	53
5.2.16.5 Higroscopicidade.....	53
5.2.17 Avaliação da eficiência da encapsulação do EPPM e atividade antioxidante deste extrato	53
5.2.18 Rendimento do extrato de polpa de pitaya microencapsulado	54
5.2.19 Retenção do teor de betalaínas e compostos fenólicos no extrato microencapsulado	54
5.2.20 Estudo da estabilidade do EPPM	54
5.2.21 Análise Estatística.....	54
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.3.1 Composição centesimal, caracterização físico-química e de compostos bioativos da casca e polpa de pitaya <i>in natura</i>	55

5.3.2 Planejamento experimental para a extração assistida por ultrassom (EAU) de betalaínas e compostos fenólicos de polpa de pitaya.....	58
5.3.2.1 <i>Betalaínas</i>	59
5.3.2.2 <i>Compostos fenólicos</i>	60
5.3.2.3 <i>Condições selecionadas para o planejamento experimental da extração de compostos fenólicos e betalaínas de polpa de pitaya por ultrassom</i>	61
5.3.3 Caracterização físico-química e quantificação de betalaínas e compostos fenólicos do extrato de pitaya selecionado	61
5.3.4 Caracterização físico-química e física do extrato de polpa de pitaya microencapsulado (EPPM)	63
5.3.5 Avaliação da eficiência, retenção, rendimento e quantificação de compostos bioativos e atividade antioxidante do extrato de polpa de pitaya microencapsulado	67
5.3.6 Atividade antioxidante do extrato de polpa de pitaya obtido por extração assistida por ultrassom e do EPPM.....	68
5.3.7 Estudo da estabilidade do EPPM	69
6. CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS	76

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados disponibilizados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), o comércio global de frutas atingiu um pico sem precedentes de 868 milhões de toneladas no ano de 2018. O aumento da demanda nesse setor está atrelado principalmente à conscientização crescente dos consumidores acerca dos benefícios nutricionais que as frutas trazem à saúde humana (FAO, 2020).

Nos últimos anos, o surgimento de problemas de saúde em virtude dos aspectos toxicológicos associados a utilização de corantes artificiais para alimentos, como a ocorrência de intolerância e respostas alérgicas, elevou a consciência dos fabricantes e dos consumidores quanto à importância do uso de ingredientes naturais no processamento de alimentos (MARTINS et al., 2016; CELLI; BROOKS, 2017; LEONG et al., 2018).

Cada vez mais, pesquisadores têm buscado por fontes de componentes benéficos a saúde, como os antioxidantes e pigmentos naturais (IBRAHIM et al., 2018). As frutas fornecem diversos nutrientes e diferentes compostos bioativos, incluindo fitoquímicos, vitaminas, minerais e fibras que auxiliam na redução do risco de doenças crônicas (QUINTIN et al., 2019; FERNANDES et al., 2019).

A pitaya é um fruto pertencente à família *Cactaceae*, nativa das regiões do sul do México e América Central, sendo cultivada nos mais diversos países, incluindo a região nordeste do Brasil. Aspectos como coloração atraente, sabor agradável, perfil nutricional e antioxidante, e potencial econômico, fazem o fruto ganhar destaque na produção mundial de frutas exóticas (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012; MERCADO-SILVA, 2018). Os frutos são uma fonte rica de compostos antioxidantes, como compostos fenólicos e betacianinas, que podem auxiliar na proteção dos constituintes celulares e, portanto, limitar o risco de várias doenças degenerativas associadas ao estresse oxidativo, possuindo também efeito anti-inflamatório, antibacteriano e antiobesogênico (FERRERES et al., 2017; CELLI; BROOKS, 2017).

A pitaya é muito apreciada nos mercados de frutas exóticas, entretanto, a curta vida de prateleira apresenta um desafio para os tratamentos pós-colheita. Deste modo, surgem propostas para o consumo e utilização da polpa em escala industrial, mas também na aplicação em projetos inovadores para incluir polpa e resíduos em novos produtos, apoiando assim os

produtores locais (CHUCK HERNÁNDEZ; PARRA-SALDÍVAR; SANDATE-FLORES, 2016; GENGATHARAN et al., 2017; LI et al., 2019; BUENO et al., 2020; UTPOTT et al., 2020; LIAO et al., 2020).

A obtenção de materiais valiosos tais como os compostos bioativos que estão naturalmente presentes nas plantas depende diretamente do procedimento de extração utilizado. Nos métodos tradicionais, equipamentos simples são utilizados, no entanto consomem elevada quantidade de solventes e tempo, o que pode interferir na qualidade do extrato final, em virtude da degradação dos compostos de interesse. Com o tempo, esses métodos foram aprimorados de modo a aumentar a eficiência da extração e reduzir o tempo. Muitas técnicas de extração modernas foram desenvolvidas para garantir a extração rápida e seletiva com menos quantidade de solventes, tais como a extração assistida por ultrassom (EAU), a extração assistida por micro-ondas, extração acelerada por solvente, extração por fluido supercrítico, extração por campo elétrico pulsado e por enzimas (PANJA, 2018).

A extração assistida por ultrassom é considerada uma tecnologia de extração verde e sustentável. A técnica se destaca por possuir elevada reprodutibilidade, reduzindo o consumo de solventes, simplificando a manipulação e o processamento, proporcionando maior pureza do produto final e consumindo apenas uma fração da energia fóssil normalmente necessária para um método de extração convencional, como a extração por *Soxhlet*, maceração ou destilação em *clevenger* (CHEMAT et al., 2017).

A aplicação de extratos com perfil bioativo em produtos alimentícios pode apresentar dificuldades, como a baixa estabilidade, que pode ser influenciada pelo tipo de solvente utilizado, pH, temperatura, presença de oxigênio, luz e enzimas (CARREÓN-HIDALGO et al., 2021; MANDAJI; PENA; CHISTÉ, 2022). Deste modo, a microencapsulação é conhecida como uma técnica de processamento alternativo que permite proporcionar uma maior estabilidade aos compostos, garantindo proteção contra a ação de fatores ambientais. O objetivo da microencapsulação é aprisionar uma substância de modo a revesti-la com um material de suporte/parede, formando pequenas partículas, seladas, que podem liberar o conteúdo de modo controlado em condições específicas (AHMAD et al., 2018).

A partir da extração e microencapsulação do extrato de pitaya, surge a possibilidade de aplicação em produtos com potencial funcional agregado nos mais diversos setores da indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética, promovendo uma maior exploração comercial e

competitividade do mercado extrativista através da criação de produtos em pó que se apresentam viáveis comercialmente, com boa qualidade tecnológica, baixa umidade e atividade de água, com boa retenção de compostos termossensíveis, fotossensíveis e oxidáveis, de fácil transporte e armazenamento prolongado. Desta forma, tendo em vista o crescente interesse acerca da pitaya, este projeto tem como objetivo extrair betalaínas e compostos fenólicos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) cultivada no Agreste de Pernambuco utilizando extração assistida por ultrassom e realizar a microencapsulação do extrato e posteriormente avaliar a sua estabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Extrair betalaínas e compostos fenólicos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) por ultrassom, microencapsular o extrato, caracterizá-lo e realizar o estudo da estabilidade.

2.2 Específicos

- Quantificar o teor de betalaínas e compostos fenólicos da polpa e casca de pitaya de modo a definir a parte da fruta que apresente maior teor desses compostos;
- Selecionar a melhor condição de extração em ultrassom para betalaínas e compostos fenólicos de pitaya;
- Caracterizar físico-quimicamente e quantificar o teor de betalaínas, compostos fenólicos e atividade antioxidante do extrato de pitaya obtido na melhor condição de extração por ultrassom;
- Comparar a melhor condição de extração assistida por ultrassom com a extração convencional;
- Caracterizar físico-quimicamente, quantificar o teor de betalaínas, compostos fenólicos, atividade antioxidante do extrato microencapsulado de pitaya;
- Avaliar a estabilidade das betalaínas, compostos fenólicos e cor do extrato microencapsulado a temperatura ambiente em sacos laminados *ziplock* durante o armazenamento por 90 dias.

3. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESES

A extração assistida por ultrassom apresentará eficácia na extração de betalaínas e compostos fenólicos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*)? A microencapsulação do extrato proporcionará a proteção desses compostos? O extrato microencapsulado apresentará estabilidade no teor de betalaínas, compostos fenólicos e cor durante 90 dias de armazenamento?

Tendo em vista que a extração assistida por ultrassom consiste em uma técnica emergente considerada eficiente na extração de compostos bioativos, supõe-se que o extrato de pitaya irá apresentar teores satisfatórios de betalaínas e compostos fenólicos. Sabe-se que os compostos bioativos são suscetíveis a degradação por agentes externos, desta maneira, espera-se que a microencapsulação permita a proteção dos compostos estudados, assim como possibilite a estabilidade do extrato durante 90 dias de armazenamento.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Produção de frutas

A agricultura global evoluiu para um setor altamente diversificado, com operações que variam de pequenas fazendas de subsistência a grandes multinacionais e, neste cenário, a América Latina tornou-se a principal exportadora de produtos agrícolas, sendo o Brasil o país que mais exporta alimentos (OECD-FAO, 2019).

O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking de maiores produtores de frutas do mundo, perdendo apenas para a China e Índia. O país ganha destaque durante todas as épocas do ano em virtude das condições edafoclimáticas, que permitem o cultivo e a colheita durante todo o ano, além de possibilitarem o acesso ao alimento a preços em conta (KIST et al., 2018).

A economia da região Nordeste do Brasil é considerada a terceira maior do país e é baseada principalmente na agricultura, extrativismo vegetal e mineral, na indústria e comércio e nas atividades turísticas. A agricultura é beneficiada pelo clima tropical e presença de diversos biomas, permitindo o cultivo de frutas, vegetais e ervas nativas e exóticas (CORADIN; CAMILLO; PAREYN, 2018).

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, sendo a sua distribuição predominantemente na Região Nordeste. Se constitui como um complexo vegetacional no qual prevalecem árvores, ervas e arbustos de pequeno porte, que geralmente possuem espinhos ou acúleos. Na literatura é discutido que a Caatinga, por ser uma região árida, produz frutos com uma maior quantidade de compostos bioativos secundários, se comparado com aqueles produzidos em regiões úmidas, trazendo assim elevado valor agregado aos frutos e mostrando a importância do bioma para a fruticultura da Região Nordeste, permitindo a geração de empregos e renda para os pequenos produtores (CORADIN; CAMILLO; PAREYN, 2018; OECD-FAO, 2019).

4.2 Pitaya

As cactáceas são culturas prósperas em regiões áridas e semiáridas devido à sua baixa necessidade de água e ao bom uso dos recursos naturais. Populações antigas das regiões do México e sul dos Estados Unidos tradicionalmente selecionam cactos de acordo com sua

utilidade (biomassa, fonte de água, material de construção, fonte de carboidratos e como plantas decorativas) (CHUCK-HERNÁNDEZ; PARRA-SALDÍVAR; SANDATE-FLORES, 2016).

A pitaya inclui diferentes espécies e as mais comuns são a pitaya amarela (*Hylocereus megalanthus* Bauer) e a pitaya vermelha (*Hylocereus* spp. Britt & Rose). Na espécie *Hylocereus* spp., destacam-se a pitaya vermelha de polpa branca (*Hylocereus undatus*) e a pitaya vermelha de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) (DEMBITSKY et al., 2011; LE BELLEC; VAILLANT, 2011; MERCADO-SILVA, 2018). A planta (Figura 1) apresenta cactos com caules angulares e flores brancas e perfumadas que só abrem no período da noite e, devido ao seu pericarpo vermelho vivo, sépalas sobrepostas verdes que cobrem a fruta e presença de brácteas, é conhecida como “fruto do dragão” (MIZRAHI, NERD; NOBEL, 1997). Possui afinidade por solos levemente ácidos, arenosos e pedregosos e sua temperatura ótima de crescimento está na faixa entre 10 e 34 °C (CHUCK-HERNÁNDEZ; PARRA-SALDÍVAR; SANDATE-FLORES, 2016).

Figura 1. Planta de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*)



Fonte: A autora (2021)

A polpa da pitaya corresponde cerca de 60% a 80% do peso total do fruto, que varia entre 300 a 350 g (BHAT; PALIYATH, 2016; MERCADO-SILVA, 2018). A pitaya vermelha (*H. polyrhizus*) (Figura 2) apresenta casca e polpa de coloração vermelha ou roxa e sementes negras, sendo o seu principal pigmento as betalaínas, que apresentam estabilidade em uma ampla faixa de pH, que varia de 3 a 7, o que sugere a elevada possibilidade de aplicação de seus pigmentos em diversos alimentos, incluindo produtos lácteos (DEMBITSKY et al., 2011; GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2017). O fruto é classificado como não-climatérico e altamente perecível, e quanto mais tarde ocorre a colheita, mais a qualidade e a vida pós-colheita são reduzidas (LE BELLEC; VAILLANT; IMBERT; 2006; MAGALHÃES et al., 2019).

Figura 2. Fruto de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*)



Fonte: A autora (2021)

Devido ao seu sabor e coloração atrativos, o fruto do dragão tem se destacado na fruticultura mundial, sendo cultivado em diversas regiões do mundo, incluindo México, Martinica, Colômbia, Nicarágua, Guatemala, Costa Rica, Peru, Venezuela, Honduras, Chile, China, Bahamas, Bermuda, Austrália, Estados Unidos, Índia, Tailândia, Taiwan, Malásia, Filipinas, Japão, Nova Zelândia, Vietnã, Espanha, Camboja, Ilha da Reunião, Indonésia, Israel e recentemente no Brasil (IBRAHIM et al., 2018; MERCADO-SILVA, 2018).

No Brasil as principais produções estão dispostas nas Regiões Sul, Sudeste e Nordeste, sendo o cultivo nas regiões semiáridas do país bastante recente. Uma vantagem particular do cultivo de pitayas em regiões secas é o seu potencial para contribuir para o desenvolvimento agrícola em virtude de sua elevada tolerância ao estresse hídrico a longo prazo e solos pobres, exigindo pouco ou nenhum investimento (HUA et al., 2018; IBRAHIM et al., 2018; WU et al., 2019).

O fruto é muito apreciado nos mercados de frutas exóticas em sua forma *in natura* ou na forma minimamente processada, entretanto, sua curta vida de prateleira apresenta um desafio para os tratamentos pós-colheita. Com isso, a pitaya também tem sido consumida na forma processada, sendo as suas principais aplicações em geleias, polpas congeladas, bebidas, sorvetes e ponches. Existindo também projetos inovadores para incluir a casca e seus resíduos em novos produtos. A composição nutricional e a presença de compostos antioxidantes são uma excelente oportunidade para o seu desenvolvimento como alimento funcional no mercado internacional (CHUCK-HERNÁNDEZ; PARRA-SALDÍVAR; SANDATE-FLORES, 2016; LIAO et al., 2020).

A pitaya tem ganhado notoriedade desde o período pré-hispânico maia. Os maias costumavam utilizar a fruta na proteção contra doenças cardíacas, na desinfecção de feridas e

para fins hipoglicêmicos e diuréticos (IBRAHIM et al., 2018). O fruto se destaca em virtude de atividades biológicas potenciais, como capacidade antioxidante, capacidade de eliminação de radicais livres, proteção cardíaca, anti-inflamatória, antibacteriana e anti-obesogênica (CELLI; BROOKS, 2017).

O fruto é considerado uma boa fonte de antioxidantes, vitaminas, carotenoides, compostos fenólicos, ácidos graxos, esteróis, triterpenos e betalaínas. As principais vitaminas encontradas são tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, cobalamina e ácido ascórbico (Tabela 1). Quanto aos carotenoides, o licopeno é o principal composto dessa família, principalmente na variedade vermelha (DEMBITSKY et al., 2011; IBRAHIM et al., 2018; MERCADO-SILVA, 2018).

Tabela 1. Composição química da polpa de pitaya

Constituintes	Quantidade em 100 g de polpa <i>in natura</i>
Umidade (%)	83
Proteína (g)	0,19
Lipídios (g)	0,41
Fibra Alimentar (g)	0,8
Cinzas (g)	0,61
Cálcio (mg)	7,55
Fósforo (mg)	33,15
Ferro (mg)	0,6
Carotenóides (mg)	0,008
Tiamina (mg)	0,35
Riboflavina (mg)	0,36
Niacina (mg)	0,363
Ácido ascórbico (mg)	8,5

Fonte: Mercado-Silva (2018)

Em estudo realizado com extrato de pitaya (TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012) foram encontrados diversos compostos incluindo betaninas, isobetaninas, filocactinas, isofilocactinas, quercetinas e outros flavonóis. Hua et al. (2018), observaram que três cultivares de pitaya apresentaram elevada atividade antioxidante devido ao teor de betalaínas, fenólicos totais e flavonóides totais tanto para a polpa quanto para a casca, sugerindo que ambas partes podem atuar como boa fonte de antioxidantes (BHAGYA RAJ; DASH, 2020).

Fatores como estágio de maturação, diferenças genéticas, condições ambientais, condições de pré-colheita e de armazenamento pós-colheita e processamento podem influenciar

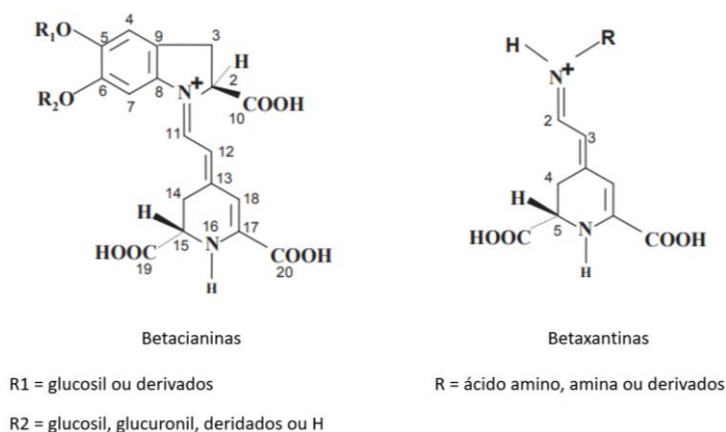
na composição dos frutos. As condições de armazenamento pós-colheita são críticas porque a pitaya vermelha possui um alto teor de umidade, o que resulta em uma vida útil curta durante o armazenamento e possível diminuição no teor de compostos bioativos (CEJUDO-BASTANTE et al., 2016; YONG et al., 2018).

4.3 Betalaínas

Os produtos alimentícios com aparência atrativa estão relacionados a pigmentos, uma vez que estes desempenham um papel significativo no desenvolvimento da ciência de alimentos (MARTINS et al., 2016; CELLI; BROOKS, 2017; LEONG et al., 2018). A cor é uma das qualidades mais importantes nos alimentos e muitas vezes influencia diretamente na qualidade sensorial na escolha do consumidor. As betalaínas são pigmentos nitrogenados solúveis em água, e derivados do aminoácido L-tirosina. Ao total três enzimas estão envolvidas na biossíntese das betalaínas, a 4,5-DOPA extradiol-dioxigenase, a tirosinase e a betanidina-glucosiltransferase (CELLI; BROOKS, 2017; COY-BARRERA, 2020).

A depender de sua estrutura química por condensação biossintética e seus padrões de glicosilação ou acilglicosilação, as betalaínas podem apresentar diferentes colorações. As betacianinas apresentam coloração vermelho-púrpura e se caracterizam pela presença de conjugados de amônio de ácido betalâmico com ciclo-Dopa (ciclo-3,4-dihidroxifenilalanina), enquanto as betaxantinas possuem coloração amarelo-alaranjado e apresentam aminoácidos em sua estrutura, tais como aminoácidos, aminas ou derivados. Atualmente as betalaínas são usadas como corantes naturais na fabricação de alimentos (CELLI; BROOKS, 2017; IBRAHIM et al., 2018; RODRIGUEZ-AMAYA, 2019).

Figura 3. Estrutura química das betalaínas



Fonte: Rodriguez-Amaya (2018)

As betalaínas estão amplamente distribuídas no reino vegetal, estando presentes em flores, frutas, raízes, folhas, caules, sementes e grãos (CONG-CONG et al., 2017). Nas matrizes alimentares, a beterraba vermelha foi considerada por um longo tempo como a única fonte de betalaínas. No entanto, ultimamente estudos comprovaram a existência de outras fontes comestíveis de betalaínas como *Ullucus tuberosus*, importante cultura de raízes na região andina da América do Sul (CEJUDO-BASTANTE et al., 2014), *Basella rubra*, um vegetal folhoso que acumula pigmentos em seus frutos (KUMAR et al., 2016), *Opuntia stricta* ou pera de cacto (MELGAR et al., 2017), *Ginkgo biloba L.*, importante planta medicinal asiática, entre outros (CONG-CONG et al., 2017).

Recentemente, estudos apontaram que as betalaínas são os pigmentos que existem em maior quantidade na pitaya, apresentando valores consideráveis na polpa e na casca do fruto (IBRAHIM et al., 2018; MERCADO-SILVA, 2018). Estudos realizados *in vitro* com Betalaínas observaram a eliminação de espécies reativas de oxigênio, atuando na inibição da peroxidação lipídica, prevenção de danos ao DNA, além de demonstrarem capacidade anti-inflamatória e antimicrobiana e ausência de toxicidade, respostas alergênicas ou mutagênicas (ESATBEYOGLU et al., 2015; GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015; GANDÍA-HERRERO; ESCRIBANO; GARCÍA-CARMONA, 2016; KHAN, 2016; NINFALI et al., 2017; COY-BARRERA, 2020; MONTIEL-SÁNCHEZ et al, 2021).

Desta forma, as betalaínas podem ser promissoras para aplicação em suplementos dietéticos para a promoção da saúde. Além disso, são consideradas corantes relativamente poderosos, uma vez que possibilitam atingir a cor desejada com doses que não excedam 50 mg por kg. As betalaínas apresentam coloração três vezes maior que as antocianinas (GANDÍA-HERRERO; ESCRIBANO; GARCÍA-CARMONA, 2016; RORIZ et al., 2017; COY-BARRERA, 2020).

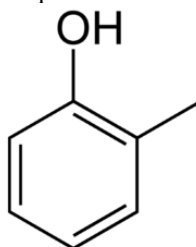
Contudo, apesar das inúmeras atividades biológicas notificadas, a estabilidade da cor e a atividade antioxidante desses pigmentos são restritas devido à sua rápida degradação na presença de oxigênio, solventes, luz, cátions, agentes quelantes, pH, atividade da água, temperatura, algumas enzimas e radicais livres (CELLI; BROOKS, 2017; BETANCOURT et al., 2017; IBRAHIM et al., 2018; COY-BARRERA, 2020).

4.4 Compostos Fenólicos

Nos últimos anos doenças e distúrbios relacionados ao estresse oxidativo ganharam destaque no mundo. Doenças metabólicas, neurodegenerativas, cardiovasculares e variados tipos de câncer estão entre as mais frequentes (MARTINS; BARROS; FERREIRA, 2016). Em contrapartida, novos produtos naturais oferecem perspectivas de inovação no desenvolvimento e descoberta de medicamentos e desempenham papel importante na indústria farmacêutica (KUMAR et al., 2019).

Os compostos fenólicos constituem uma classe principal de fitoquímicos que estão amplamente distribuídos no reino vegetal e representam a principal fonte de antioxidantes exógenos na dieta humana, estando presentes em frutas, ervas, especiarias, nozes, raízes e hortaliças (GIOXARI et al., 2016; PANJA, 2018). Os compostos fenólicos são sintetizados principalmente pelas vias de shiquimato e acetato e geralmente são encontrados conjugados com açúcares e ácidos orgânicos, ligados a porções de hidroxila ou a carbonos aromáticos (GIOXARI et al., 2016). São caracterizados por possuírem um grupo hidroxila associado a uma estrutura de anel aromático. Supõe-se que existam mais de 9000 estruturas fenólicas já identificadas (GIOXARI et al., 2016; CHEN; XU, 2019).

Figura 4. Estrutura química dos compostos fenólicos



Fonte: Gioxari et al. (2019)

Os compostos fenólicos apresentam diversos benefícios para as plantas e para a saúde humana. Nas plantas atuam no crescimento, desenvolvimento, reprodução e proteção contra a radiação ultravioleta, vírus, bactérias e insetos, além de serem responsáveis pelo cheiro, cor e sabor dos produtos vegetais (GIOXARI et al., 2016; KUMAR; GOEL, 2019). Em ensaios *in vitro*, funcionam principalmente como antioxidantes, captando espécies reativas de oxigênio (PANJA, 2018; AGUIAR et al., 2019).

Cada vez mais pesquisadores, fabricantes e consumidores buscam por produtos que contenham compostos bioativos, uma vez que estes fornecem uma variedade de benefícios a saúde. No entanto, os compostos fenólicos apresentam suscetibilidade a fatores como luz, pH,

temperatura, presença de oxigênio e enzimas e sua eficácia e biodisponibilidade depende não apenas de sua estabilidade durante o processamento e armazenamento dos alimentos, mas também de fatores relacionados ao trato gastrointestinal dos seres humanos, barreiras biológicas e interações com outros fitoquímicos. Com isso, torna-se necessária a aplicação de técnicas de processamento que permitam um maior aproveitamento destes compostos, assim como possibilitem uma maior estabilidade (MARTINS; BARROS; FERREIRA, 2016; BANERJEE et al., 2017; LOURENÇO; MOLDÃO-MARTINS; ALVES, 2020; SILVA et al., 2021; MANDAJI; PENA; CHISTÉ, 2022).

4.5 Extração assistida por ultrassom (EAU)

Existe uma busca crescente no mercado por alimentos e suplementos alimentares com perfil funcional. A obtenção de materiais de interesse que estão naturalmente presentes nas plantas depende do procedimento de extração utilizado (GARAVAND; MADADLOU; MOINI, 2017; QUINTIN et al., 2019). A extração representa o primeiro e mais importante passo para obter compostos bioativos de um material vegetal. Nos métodos convencionais tais como a agitação mecânica, refluxo de calor e *Soxhlet*, os tecidos vegetais são moídos, macerados ou agitados com o propósito de facilitar a difusão da substância em questão no solvente ou matriz de extração, que pode ocorrer com auxílio do calor ou não até atingir a concentração máxima de solubilização de um determinado composto (CALDAS et al., 2018; PANJA, 2018; ZHANG et al., 2019).

Os métodos convencionais de extração são simples e de fácil reprodução, no entanto demandam elevada quantidade de tempo e temperatura, o que pode levar à degradação de compostos termolábeis, assim como a utilização em elevadas quantidades de solventes tóxicos para os seres humanos e o meio ambiente, o que os tornam processos caros e pouco ecológicos (RAHMANIAN; JAFARI; WANI, 2015; BARBA et al., 2017; PANJA, 2018; BHAGYA RAJ; DASH, 2020). Tendo em vista tais desvantagens surge a necessidade do desenvolvimento de técnicas que atendam a requisitos de segurança, que sejam eficientes e favoráveis ao meio ambiente em termos de toxicidade e degradação de compostos termo sensíveis (GARAVAND; MADADLOU; MOINI, 2017; BARBA et al., 2017; TAN et al., 2017; ZHANG et al., 2019; PANJA, 2018).

Neste cenário, o desenvolvimento de métodos verdes de extração ganha destaque na pesquisa de produtos naturais, uma vez que possibilitam a extração de matrizes complexas,

aumentam a seletividade e estabilidade de compostos e permitem a reprodução do método. Desta forma, resultam em um desenvolvimento industrial inovador, ecológico e econômico. Algumas das principais técnicas de processamento utilizadas são a extração assistida por alta pressão, micro-ondas, radiação ionizante, plasma frio, ultrassom e campo elétrico pulsado (CHEMAT et al., 2017; WEN et al., 2018; QUINTIN et al., 2019; LI et al., 2019; ZHANG et al., 2019; BHAGYA RAJ; DASH, 2020; LIAO et al., 2020; BELLUCCI et al., 2021).

A extração assistida por ultrassom (EAU) ou sonicação, é uma técnica verde amplamente utilizada no âmbito do processamento de alimentos e consiste na utilização de ondas mecânicas de compressão e expansão de ondas sonoras com frequência entre 20 e 100 kHz. O processo permite a propagação de ultrassom através de meios líquidos. A EAU implica na geração, amplificação e colapso de microbolhas como resultado dos fenômenos de cavitação, resultando ainda em intensas forças de cisalhamento, ondas de choque, macro turbulências, micro misturas e streaming acústico (RAHMANIAN et al., 2015; CHEMAT et al., 2017).

A conversão da energia mecânica em energia térmica associada ao aumento da temperatura, reduz a viscosidade e eleva a permeabilidade da parede celular do alimento. Favorecendo, desta maneira, a transferência de massa e melhorando a penetração do solvente no interior das células, resultando em maior eficiência do processo utilizando pouco tempo (CHEMAT et al., 2017; PANJA, 2018; ZHANG et al., 2019). A EAU surge como uma alternativa considerada “verde” e promissora na extração de compostos bioativos e pigmentos, pois utiliza menor quantidade de solventes, menor tempo de processo, maior penetração de solventes e maior rendimento (BARBA et al., 2017).

Uma série de fatores podem afetar o processo EAU, tais como tempo de extração, concentração do solvente, relação solvente/sólido, frequência, potência e temperatura, o que sugere a necessidade do desenvolvimento de estudos que possibilitem a otimização do processo de modo a maximizar o rendimento do componente especificado com alta purificação, sem afetar as propriedades do componente a ser extraído (BHAGYA RAJ; DASH, 2020).

A EAU tem se mostrado uma técnica promissora em termos comerciais, sendo utilizada na extração de compostos bioativos de frutas e vegetais para serem encapsulados em produtos alimentares, na extração de pigmentos, aromas, polissacarídeos e ácidos graxos. Estudos recentes têm sido desenvolvidos utilizando EAU de betalaínas e compostos fenólicos em matrizes vegetais, tais como casca de uva (CALDAS et al., 2018), quinoa (LAQUI-VILCA et

al., 2018), casca de pitaya (BHAGYA-RAJ; DASH, 2020) e *Amaranthus hypochondriacus* (TABIO-GARCÍA et al., 2021). No entanto, ainda é necessária uma extensa investigação para desenvolver ainda mais a aplicabilidade industrial do método e sua influência nas características dos compostos bioativos (CHEMAT et al., 2017; WEN et al., 2018; LI et al., 2021).

4.6 Microencapsulação

Hipócrates, o médico grego pai da medicina ocidental, deixou uma frase bem conhecida há aproximadamente 2500 anos atrás: “Que o alimento seja o teu remédio e teu remédio seja o teu alimento”, iniciando o interesse no estudo de componentes alimentares específicos (AGUIAR et al., 2019). Nas últimas décadas, o conceito de alimento sofreu modificações. A nutrição consiste não unicamente no sustento da vida, fornecimento de energia ou promoção do crescimento, mas também na prevenção de doenças e melhora da saúde física e mental. O “alimento funcional” ganhou atenção crescente (YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018).

A tecnologia de microencapsulação de compostos é definida como um processo que consiste em aprisionar substâncias no estado sólido, líquido ou gasoso (agente encapsulado ou núcleo ativo) dentro de uma ou mais classes de materiais de invólucro ou microcápsulas (material de parede ou casca), que possuem de 1 a 1000 microns (AHMAD et al., 2018; YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018). A microencapsulação é utilizada para melhorar a nutrição, mascarar os sabores e odores, facilitar o armazenamento, prolongar a vida útil sem influenciar adversamente as propriedades físicas, químicas ou funcionais do material encapsulado, além de beneficiar os consumidores, incluindo a possibilidade de reduzir o uso de gordura, sal e aditivos (FRANCO et al., 2017; YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018).

Existem diferentes técnicas utilizadas na microencapsulação de ingredientes alimentares, tais como a secagem por atomização, revestimento em leito fluidizado, liofilização, lipossomas, coacervação, inclusão molecular, micelas poliméricas, processos de extrusão, fluidos supercríticos, lipídios nanoestruturados, matrizes ou evaporação de solventes. Essas técnicas permitem superar diversas restrições, assim como aumentar a biodisponibilidade, solubilidade e aplicabilidade do produto em questão (AGUIAR; ESTEVINHO; SANTOS, 2016; FRANCO et al., 2017; YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018).

Dentre as mais variadas técnicas já citadas, a microencapsulação por atomização ganha destaque na indústria, uma vez que consiste em um processo contínuo e possibilita um produto

com maior viabilidade comercial, boa qualidade tecnológica, baixa umidade e atividade de água, com boa retenção de compostos termossensíveis, fotossensíveis e oxidáveis, de fácil transporte e armazenamento prolongado. O processo consiste basicamente na conversão de uma solução ou emulsão em partículas secas por pulverização em uma câmara de secagem contendo ar quente (YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018; LABUSCHAGNE, 2018).

A Eficiência da encapsulação (EE) é um dos parâmetros de qualidade mais importantes das técnicas de microencapsulação, uma vez que determina a capacidade do material de parede de reter o material do núcleo dentro da microcápsula. Este parâmetro permite determinar se o método de microencapsulação e o material de parede usado são capazes de encapsular o material do núcleo com eficiência (AHMAD et al., 2018). A escolha do material de parede adequado é o primeiro passo no processo de microencapsulação. Algumas das propriedades ideais incluem biodegradabilidade, biocompatibilidade, não toxicidade, baixa viscosidade, baixa higroscopicidade, capacidade de estabilizar o material do núcleo em emulsão, alta solubilidade, capacidade de formação de filme, alta proteção, ausência de sabor ou cheiro e custos econômicos favoráveis (FRANCO et al., 2017; LABUSCHAGNE, 2018). Desta forma, os polissacarídeos são os candidatos mais populares em virtude do baixo custo e elevada solubilidade em água dos materiais no núcleo hidrofóbico, o que é vital para o aumento da biodisponibilidade (ZHANG et al., 2016; YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018). As maltodextrinas são polissacarídeos formados pela hidrólise parcial do amido e ganham destaque como agentes encapsulantes, em virtude da sua baixa viscosidade, higroscopicidade e boa solubilidade, mesmo em concentrações elevadas, além de possuírem valor acessível e serem amplamente utilizadas em estudos que envolvem microencapsulação (LABUSCHAGNE, 2018; ARAÚJO et al., 2020; RAHMAN-MAZUMDER; RANGANATHAN, 2020).

Nos últimos anos, pesquisas relacionadas à microencapsulação de compostos fenólicos e betalaínas têm sido desenvolvidas utilizando variadas matrizes, tais como frutos de *Opuntia ficus-indica* (OTÁLORA et al., 2015), uva (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016), frutos de *Escontria chiotilla* e *Stenocereus queretaroensis* (SOTO-CASTRO et al., 2019), casca de abacaxi (LOURENÇO et al., 2020) e casca de romã (YANG et al., 2022).

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J.; ESTEVINHO, B. N.; SANTOS, L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 58, p. 21-39, 2016.
- AGUIAR, L. M.; GERALDI, M. V.; CAZARIN, C. B. B.; MARÓSTICA-JUNIOR, M. R. Functional Food Consumption and Its Physiological Effects. *In*: CAMPOS, M. R. S. **Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications**, Cambridge: Woodhead Publishing, p. 205-225, 2019.
- AHMAD, M.; ASHRAF, B.; GANI, A.; GANI, A. Microencapsulation of saffron anthocyanins using β glucan and β cyclodextrin: Microcapsule characterization, release behaviour and antioxidant potential during *in vitro* digestion. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 435-442, 2018.
- KIST, B. B.; CARVALHO, C.; TREICHEL, M.; SANTOS, C. E. Brazilian Fruit Yearbook 2018. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 88 p., 2018.
- ARAÚJO, J. S. F.; SOUZA, E. L.; OLIVEIRA, J. R.; GOMES, A. C. A.; KOTZEBUE, L. R. V.; AGOSTINI, D. L. S.; OLIVEIRA, D. L. V.; MAZZETTO, S. E.; SILVA, A. L.; CAVALCANTI, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 143, p. 991-999, 2020.
- BANERJEE, J.; SINGH, R.; VIJAYARAGHAVAN, R.; MACFARLANE, D.; PATTI, A.; ARORA, A. Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. **Food Chemistry**, v. 225, p. 10-22, 2017.
- BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; KOVACEVIC, D. B.; POOJARY, M. M.; ROOHINEJAD, S.; LORENZO, J. M.; KOUBAA, M. Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 260-270, 2017.
- BELLUCCI, E. R. B.; MUNEKATA, P. E. S.; PATEIRO, M.; LORENZO, J. M.; BARRETTO, A. C. S. Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. **Meat Science**, v. 171, p. 108284, 2021.
- BETANCOURT, C.; CEJUDO-BASTANTE, M. J.; HEREDIA, F. J.; HURTADO, N. Pigment composition and antioxidant capacity of betacyanins and betaxanthins fractions of *Opuntia dillenii* (Ker Gawl) Haw cactus fruit. **Food Research International**, v. 101, p. 173-179, 2017.

BHAGYA RAJ, G. V. S.; DASH, K. K. Ultrasound-assisted Extraction of Phytochemicals from Dragon Fruit Peel: Optimization, Kinetics and Thermodynamic Studies. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 68, 105180, 2020.

BHAT, R.; PALIYATH, G. Fruits of Tropical Climates: Dietary Importance and Health Benefits. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Eds.) **Encyclopedia of Food and Health**, Cambridge: Academic Press, p. 144-149, 2016.

BUENO, R. S.; RESSUTTE, J. B.; HATA, N. N. Y.; BANA, F. C. H.; GUERGOLETTI, K. B. DE OLIVEIRA, A. G.; SPINOSA, W. Quality and shelf life assessment of a new beverage produced from water kefir grains and red pitaya. **LWT – Food Science and Technology**, v. 140, p. 110770 2020.

CALDAS, T. W.; MAZZA, K. E. L.; TELES, A. S. C.; MATTOS, G. N.; BRÍGIDA, A. I. S.; CONTE-JUNIOR, C. A.; BORGUINI, R. G.; GODOY, R. L. O.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and nonconventional extraction methods. **Industrial Crops & Products**, v. 111, p. 86-91, 2018.

CARREÓN-HIDALGO, J. P.; FRANCO-VÁSQUEZ, D. C.; GÓMEZ-LINTON, D. R.; PÉREZ-FLORES, L. J. Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. **Food Research International**, 110821, 2021.

CEJUDO-BASTANTE, M. J.; HURTADO, N.; DELGADO, A.; HEREDIA, F. J. Impact of pH and temperature on the colour and betalain content of Colombian yellow pitaya peel (*Selenicereus megalanthus*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 2405-2413, 2016.

CEJUDO-BASTANTE, M. J.; HURTADO, N.; MOSQUERA, N.; HEREDIA, F. J. Potential use of new Colombian sources of betalains. Color stability of ulluco (*Ullucus tuberosus*) extracts under different pH and thermal conditions. **Food Research International**, v. 64, p. 465-471, 2014.

CELLI, G. B.; BROOKS, M. S. L. Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins – a current review. **Food Research International**, v. 100, p. 501-509, 2017.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; MEULLEMIESTRE, A.; TURK, M.; PERINO, S.; FABIANO-TIXIER, A. S.; ABERT-VIAN, M. Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 41, p. 357-377, 2017.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; SICAIRES, A. G.; MEULLEMIESTRE, A.; FABIANO-TIXIER, A. S.; ABERT-VIAN, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540-560, 2017.

CHEN, G.; CHEN, S.; ZHAO, Y.; LUO, C.; LIB, J.; GAO, Y. Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after *in vitro* digestion.

Industrial Crops and Products, v.57, p. 150-157, 2014.

CHEN, B.; XU, M. Natural Antioxidants in Foods, *In*: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. **Encyclopedia of Food Chemistry**, Amsterdam: Elsevier, p. 180-188, 2019.

CHEN, L.; XU, Y.; FAN, T.; LIAO, Z.; WU, P.; WU, X.; CHEN, X. D. Gastric emptying and morphology of a ‘near real’ *in vitro* human stomach model (RD-IV-HSM). **Journal of food engineering**, v. 183, p. 1-8, 2016.

CHUCK-HERNÁNDEZ, C.; PARRA-SALDÍVAR, R.; SANDATE-FLORES, L. Pitaya. *In*: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. **Encyclopedia of Food and Health**, Cambridge: Academic Press, p. 385-391, 2016.

CONG-CONG, X.; WANG, B.; YI-QIONG, P.; JIAN-SHENG, T.; ZHANG, T. Advances in extraction and analysis of phenolic compounds from plant materials. **Chinese Journal of Natural Medicines**, v. 15, p. 721-731, 2017.

CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial** – plantas para o futuro: região Nordeste. Brasília, Distrito Federal: Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente, 1311 p., 2018.

COY-BARRERA, E. Analysis of betalains (betacyanins and betaxanthins). *In*: SILVA, A. S.; NABAVI, S. F.; SAEEDI, M.; NABAVI, S. M. (Eds.) **Recent Advances in Natural Products Analysis**. Amsterdam: Elsevier, p. 593-619, 2020.

DEMBITSKY, V. M.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, p. 1671-1701, 2011.

ESATBEYOGLU, T.; WAGNER, A. E.; SCHINI-KERTH, V. B.; RIMBACH, G. Betanin - a food colorant with biological activity. **Molecular Nutrition of Food Research**, v. 59, p. 36-47, 2015.

FAO. **Fruit and vegetables** – your dietary essentials. The International Year of Fruits and Vegetables, 2021, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/cb2395en>>. Acesso em 08 de dezembro de 2021.

FERNANDES, S. S.; COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. D. L. M. Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods: Polyphenols, Carotenoids, Peptides From Animal and Plant Sources New. *In*: CAMPOS, M. R. S. **Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications**, Cambridge: Woodhead Publishing, p. 129-142, 2019.

FERRERES, F.; GROSSO, C.; GIL-IZQUIERDO, A.; VALENTÃO, P.; MOTA, A. T.; ANDRADE, P. B. Optimization of the recovery of high-value compounds from pitaya

fruit byproducts using microwave-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 230, p. 463-474, 2017.

FRANCO, D.; ANTEQUERA, T.; PINHO, S. C.; JIMÉNEZ, E.; PÉREZ-PALACIOS, T.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; LORENZO, J. M. The use of microencapsulation by spray-drying and its application in meat products. *In*: LORENZO, J. M.; CARBALLO, F. J. **Strategies for Obtaining Healthier Foods**, New York: Nova Science Publishers, p. 333-362, 2017.

GANDÍA-HERRERO, F.; ESCRIBANO, J.; GARCÍA-CARMONA, F. Biological activities of plant pigments betalains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, p. 937-945, 2016.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. **Food Science and Technology**, v. 64, p. 645-649, 2015.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. The effect of pH treatment and refrigerated storage on natural colourant preparations (betacyanins) from red pitahaya and their potential application in yoghurt. **Food Science and Technology**, v. 80, p. 437-445, 2017.

GARAVAND, F.; MADADLOU, A.; MOINI, S. Determination of phenolic profile and antioxidant activity of pistachio hull using high-performance liquid chromatography-diode array detector-electro-spray ionization-mass spectrometry as affected by ultrasound and microwave. **International Journal of Food Properties**, v. 20, p. 19-29, 2017.

GIOXARI, A.; KOGIANNOU, D. A. A.; KALOGEROPOULOS, N.; KALIORA, A. C. Phenolic Compounds: Bioavailability and Health Effects, *In*: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. **Encyclopedia of Food and Health**. Cambridge: Academic Press, p. 339-345, 2016.

HUA, Q.; CHEN, C.; TEL ZUR, N.; WANG, H.; WU, J.; CHEN, J.; ZHANG, Z.; ZHAO, J.; HU, G.; QIN, Y. Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 126, p. 117-125, 2018.

IBRAHIM, S. R. M.; MOHAMED, G. A.; KHEDR, A. I. M.; ZAYED, M. F.; EL-KHOLY, A. A. E. S. Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance – A review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, p. 1-29, 2018.

KHAN, M. I. Stabilization of betalains: a review. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1280-1285, 2016.

KUMAR, N.; GOEL, N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. **Biotechnology Reports**, e00370, 2019.

- KUMAR N.; GUPTA, S.; YADAV, T. C.; PRUTHI, V.; VARADWAJ, P. K.; GOEL, N. Extrapolation of phenolic compounds as multi-target agents against cancer and inflammation. **Journal of Biomolecular Structure and Dynamics**, v. 37, p. 2355-2369, 2019.
- KUMAR, S. S.; MANOJ, P.; NIMISHA, G.; GIRIDHAR, P. Phytoconstituents and stability of betalains in fruit extracts of Malabar spinach (*Basella rubra* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 4014-4022, 2016.
- LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International**, v. 107, p. 227-247, 2018.
- LAQUI-VILCA, C.; AGUILAR-TUESTA, S.; MAMANI-NAVARRO, W.; MONTAÑO-BUSTAMANTE, J.; CONDEZO-HOYOS, L. Ultrasound-assisted optimal extraction and thermal stability of betalains from colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) hulls. **Industrial Crops & Products**, v. 111, p. 606-614, 2018.
- LE BELLEC, F.; VAILLANT, F.; IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, p. 237-250, 2006.
- LE BELLEC, F.; VAILLANT, F. Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In: YAHIA, E. M. **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Mangosteen to White Sapote**. Sawston: Woodhead Publishing, p. 247-273, 2011.
- LEONG, H. Y.; OOI, C. W.; LAW, C. L.; JULKIFLE, A. L.; PAN, G. T.; SHOW, P. L. Investigation of betacyanins stability from peel and flesh of red-purple pitaya with food additives supplementation and pH treatments. **LWT – Food Science and Technology**, v. 98, p. 546-558, 2018.
- LEONG, H. Y.; SHOW, P. L.; LIM, M. H.; OOI, C. W.; LING, T. C. Natural red pigments from plants and their health benefits: A review. **Food Reviews International**, v. 34, p. 463-482, 2017.
- LI, X.; LI, M.; JI, N.; JIN, P.; ZHANG, J.; ZHENG, Y.; ZHANG.; X.; LI, F. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit. **LWT**, v.115, p. 108447, 2019.
- LI, W.; GAMLATH, C. J.; PATHAK, R.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasound – The Physical and Chemical Effects Integral to Food Processing. In: SMITHERS, G.; KNOERZER, K. (Eds.) **Reference Module in Food Science**. Amsterdam: Elsevier, p. 1-30, 2021.
- LIAO, H.; ZHU, W.; ZHONG, K.; LIU, Y. Evaluation of colour stability of clear red pitaya juice treated by thermosonication. **LWT - Food Science and Technology**, v. 121, p. 1089-1097, 2020.

- LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Microencapsulation of Pineapple Peel Extract by Spray Drying Using Maltodextrin, Inulin, and Arabic Gum as Wall Matrices. **Foods**, v. 9, 1-17, 2020.
- MAGALHÃES, D. S.; RAMOS, J. D.; PIO, L. A. S.; BOAS, E. V. B. V.; PASQUAL, M.; RODRIGUES, F. A.; RUFINI, J. C. M.; SANTOS, V. A. Physical and physicochemical modifications of white-fleshed pitaya throughout its development. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 537-543, 2019.
- MANDAJI, C. M.; PENA, R. S.; CHISTÉ, R. C. Encapsulation of bioactive compounds extracted from plants of genus *Hibiscus*: A review of selected techniques and applications. **Food Research International**, v. 151, 110820, 2022.
- MARTINS, N.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. *In vivo* antioxidant activity of phenolic compounds: facts and gaps. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 1-12, 2016.
- MARTINS, N.; RORIZ, C. L.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 52, p. 1-15, 2016.
- MELGAR, B.; PEREIRA, E.; BEATRIZ, M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA-CASTELLO, M. E.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; SOKOVIC, M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. **Food Research International**, v. 101, p. 259-265, 2017.
- MERCADO-SILVA, E. M. Pitaya - *Hylocereus undatus* (Haw). In: RODRIGUES, S.; SILVA, E. O.; BRITO, E. S. **Exotic Fruits**, Cambridge: Academic Press, p. 339-349, 2018.
- MIZRAHI, Y.; NERD, A.; NOBEL, P. S. Cacti as crops. **Horticultural Review**, v. 18, p. 291-320, 1997.
- MONTIEL-SÁNCHEZ, M.; GARCÍA-CAYUELA, T.; GÓMEZ-MAQUEO, A.; GARCÍA, H. S.; PILAR CANO, M. In vitro gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (*Myrtillocactus geometrizans*). **Food Chemistry**, v. 342, 128087, 2021.
- NINFALI, P.; ANTONINI, E.; FRATI, A.; SCARPA, E. S. C-glycosyl flavonoids from *Beta vulgaris* cicla and betalains from *Beta vulgaris rubra*: antioxidant, anticancer and antiinflammatory activities – a review. **Phytotherapy Research**, v. 31, p. 871-884, 2017.
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028: Special Focus: Latin America, Rome, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca4076en/ca4076en.pdf>>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.
- OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSORIO, C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray

drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agentes. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174-181, 2015.

ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**. v. 3, p. 220-237, 2012.

PANJA, P. Green extraction methods of food polyphenols from vegetable materials. **Current Opinion in Food Science**, v. 23, p. 173-182, 2018.

QUINTIN, D.; GARCIA-GOMEZ, P.; AYUSO, M.; SANMARTIN, A. M. Active biocompounds to improve food nutritional value. **Trends in Food Science & Technology**, v. 84, p. 19-21, 2019.

RAHMAN-MAZUMDER, M. A.; RANGANATHAN, T. V. Encapsulation of isoflavone with milk, maltodextrin and gum acacia improves its stability. **Current Research in Food Science**, v. 2, p. 77-83, 2020.

RAHMANIAN, N.; JAFARI, S. M.; WANI, T. A. Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves. **Trends in Food Science & Technology**, v. 727, p. 150-172, 2015.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Betalains. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. **Encyclopedia of Food Chemistry**, Amsterdam: Elsevier, p. 35-39, 2019.

RORIZ, C. L. BARROS, L.; PRIETO, M. A.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Floral parts of *Gomphrena globosa* L. as a novel alternative source of betacyanins: Optimization of the extraction using response surface methodology, **Food Chemistry**, v. 229, p. 223-234, 2017.

SILVA, F. M. R.; SILVA, L. M. R.; DUARTE, A. S. G.; MONTEIRO, C. E. S.; CAMPOS, A. R.; HOLANDA, D. K. R.; LIMA, A. C. S.; SABINO, L. B. S.; FIGUEIREDO, R. W. Microencapsulation of green tea extract (*Camellia sinensis* var *assamica*) to increase the bioaccessibility of bioactive compounds and gastroprotective effects. **Food Bioscience**, v. 42, 101190, 2021.

SOTO-CASTRO, D.; CHAVEZ, G. M.; LEÓN-MARTÍNEZ, F.; SANTIAGO-GARCÍA, A.; ARAGÓN-LUCERO, I.; ANTONIO-ANTONIO, F. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, v. 272, p. 715-722, 2019.

TABIO-GARCÍA, D.; PARAGUAY-DELGADO, F.; SÁNCHEZ-MADRIGAL, M. Á.; QUINTERO-RAMOS, A.; ESPINOZA-HICKS, J. C.; MELÉNDEZ-PIZARRO, C. O.; RUIZ-GUTIÉRREZ, M. G.; ESPITIA-RANGEL, E. Optimisation of the ultrasound-assisted extraction of betalains and polyphenols from *Amaranthus hypochondriacus* var. Nutrisol. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 77, 105680, 2021.

TAN, G. Y. T.; ZIMMERMANN, W.; LEE, K.-H.; LAN, J. C.-W.; YIM, H. S.; NG, H. S. Recovery of mangostins from *Garcinia mangostana* peels with an aqueous micellar biphasic system. **Food and Bioproducts Processing**, v. 102, p. 233-240, 2017.

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

TOLUN, A. ALTINTAS, Z.; ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. **Journal of Biotechnology**, v. 239, p. 23-33, 2016.

UTPOTT, M.; RAMOS DE ARAUJO, R.; GALARZA VARGAS, C.; NUNES PAIVA, A. R.; TISCHER, B.; DE OLIVEIRA RIOS, A.; FLÔRES, S. H. Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, p. 1-10, 2020.

WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DZAH, C. S.; ZANDILE, M.; DUAN, Y.; MA, H.; LUO, X. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops - A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 538-549, 2018.

WU, Y.; XU, J.; HE, Y.; SHI, M.; HAN, X.; LI, W.; ZHANG, X.; WEN, X. Metabolic profiling of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) during fruit development and maturation. **Molecules**, v. 24, p. 1-16, 2019.

YANG, B.; KEALEY, K.; CHEN, J.; SOLVAL, K. M. Developing microencapsulated powders containing polyphenols and pectin extracted from Georgia-grown pomegranate peels. **LWT**, v. 154, 112644, 2022.

YE, Q.; GEORGES, N.; SELOMULYA, C. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 78, p. 167-179, 2018.

YONG, Y. Y.; DYKES, G.; LEE, S. M.; CHOO, W. S. Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines. **LWT**, v. 91, p. 491-497, 2018.

ZHANG, R.; LI, S.; ZHU, Z.; HE, J. Recent advances in valorization of *Chaenomeles* fruit: A review of botanical profile, phytochemistry, advanced extraction technologies and bioactivities. **Trends in Food Science & Technology**, v. 91, p. 467-482, 2019.

ZHANG, Z.; ZHANG, R.; CHEN, L.; MCCLEMENTS, D. J. Encapsulation of lactase (β -galactosidase) into κ -carrageenan-based hydrogel beads: Impact of environmental conditions on enzyme activity. **Food chemistry**, v. 200, p. 69-75, 2016.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

ARTIGO 1 – EXTRATO DE BETALAÍNAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE POLPA DE PITAYA OBTIDO POR ULTRASSOM: CARACTERIZAÇÃO, MICROENCAPSULAÇÃO E AVALIAÇÃO DA SUA ESTABILIDADE

RESUMO

O trabalho objetivou extrair betalaínas e compostos fenólicos de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) utilizando extração assistida por ultrassom, microencapsular o extrato mais rico nestes compostos e avaliar sua estabilidade. Realizou-se planejamento experimental de 2^3 (8 pontos fatoriais e 3 pontos centrais), avaliou-se a influência da concentração de etanol (30, 50 e 70%), razão solvente/amostra (40, 50 e 60 mL/g) e tempo de imersão em ultrassom (10, 15 e 20 minutos) sobre o teor de betalaínas e compostos fenólicos do extrato da polpa de pitaya obtido por ultrassom (EPPU). O EPPU foi microencapsulado por atomização segundo condição otimizada: maltodextrina 10 DE, temperatura de entrada (165 °C), temperatura de saída (80 °C), vazão de alimentação (0,60 L/h), bico injetor (1,2 mm), fluxo de ar (30 m³/h) e pressão do ar (0,6 bar). Caracterização física e físico-química do EPPU e do extrato de polpa de pitaya microencapsulado (EPPM) foram realizadas. A estabilidade do EPPM foi avaliada durante 90 dias em sacos de plástico laminados a 25 ± 1 °C. A extração de betalaínas não foi preditiva. A extração de compostos fenólicos foi influenciada pela variável tempo de imersão no ultrassom, fator explicado pelo maior contato entre soluto e solvente, que permite maior extração de compostos. As condições otimizadas para a extração de betalaínas e compostos fenólicos foram concentração de etanol (30%), razão solvente/amostra (40 mL/g) e tempo de imersão no ultrassom (20 minutos). O EPPU apresentou atividade de água=0,99, umidade=94,86%, pH=4,71, acidez=0,12g/100g e cor ($L^*=21,60$, $C^*=18,22$, $H^\circ=24,01$). O EPPM apresentou atividade de água=0,15, umidade=4,15%, pH=4,37, acidez=0,55 g/100g, cor ($L^*=77,17$, $C^*=30,67$, $H^\circ=17,77$), densidade aparente=0,46 g/mL, densidade absoluta=1,06 g/mL, porosidade=0,50 ϵ , solubilidade=98,47 %, higroscopicidade=13,62 g/100g, eficiência da encapsulação para BT=94,94 % e para CF=60,75 %. O EPPM apresentou rendimento de 17,21 %, retenção de betalaínas=33,63 % e de compostos fenólicos=12,54%. Ao final de 90 dias de armazenamento, o EPPM apresentou 14,28 % de perda para betalaínas e 11,88 % para compostos fenólicos, fator explicado pelo aumento da umidade e oxidação das cápsulas e diminuição do teor dos compostos. No entanto o EPPM mostra grande potencial como ingrediente e/ou pigmento funcional para aplicação em indústrias de alimentos e farmacêuticas.

Palavras-chaves: Compostos bioativos; Fruto do Dragão; Métodos Emergentes de Extração; Microencapsulação.

ABSTRACT

The work aimed to extract betalains and phenolic compounds from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) using ultrasound-assisted extraction, microencapsulate the richest extract in these compounds and evaluate its stability. An experimental design of 2^3 was carried out (8 factorial points and 3 central points), the influence of ethanol concentration (30, 50 and 70%), solvent/sample ratio (40, 50 and 60 mL/g) and ultrasound immersion time (10, 15 and 20 minutes) on the content of betalains and phenolic compounds of the pitaya pulp extract obtained by ultrasound (PPEU). The PPEU was microencapsulated by spray spraying according to optimized conditions: maltodextrin 10 DE, inlet temperature (165 °C), outlet temperature (80 °C), feed flow rate (0.60 L/h), injection nozzle (1.2 mm), air flow (30 m³/h) and air pressure (0.6 bar). Physical and physicochemical characterization of PPEU and microencapsulated pitaya pulp extract (MPPE) were performed. MPPE stability was evaluated for 90 days in laminated plastic bags at 25 ± 1 °C. Betalain extraction was not predictive. The extraction of phenolic compounds was influenced by the variable immersion time in ultrasound, a factor explained by the greater contact between solute and solvent, which allows greater extraction of compounds. The optimized conditions for the extraction of betalains and phenolic compounds were ethanol concentration (30%), solvent/sample ratio (40 mL/g) and ultrasound immersion time (20 minutes). The PPEU showed water activity=0.99, moisture=94.86 %, pH=4.71, acidity=0.12 g/100g and color ($L^*=21.60$, $C^*=18.22$, $H^\circ=24.01$). The MPPE showed water activity=0.15, moisture=4.15 %, pH=4.37, titratable acidity=0.55 g/100g, color ($L^*=77.17$, $C^*=30.67$, $H^\circ=17.77$), apparent density=0.46 g/mL, absolute density=1.06 g/mL, porosity=0.50 ϵ , solubility=98.47 %, hygroscopicity=13.62 g/ 100g, encapsulation efficiency for BT=94.94 % and for CF=60.75 %. MPPE showed a yield of 17.21 %, retention of betalains=33.63 % and phenolic compounds=12.54 %. At the end of 90 days of storage, MPPE showed a loss of 14.28 % for betalains and 11.88 % for phenolic compounds, a factor explained by the increase in humidity and oxidation of the capsules and decrease in the content of the compounds. However, MPPE shows great potential as an ingredient and/or functional pigment for application in the food and pharmaceutical industries.

Keywords: Bioactive compounds; Dragon Fruit; Emerging Methods of Extraction; Microencapsulation.

5.1 INTRODUÇÃO

A pitaya, também conhecida como fruto do dragão é um fruto exótico e tropical pertencente à família *Cactaceae*. É originária de regiões tropicais do sul do México e América Central (PRIATNI; PRADITA, 2015). Além de seu sabor, coloração e composição nutricional atrativos, a pitaya apresenta compostos como betalaínas, polifenóis, taninos e compostos não-betalínicos, responsáveis pela elevada capacidade antioxidante do fruto (BHAT; PALIYATH, 2016; BHAGYA RAJ; DASH, 2020). Esses fatores funcionam como uma excelente oportunidade para o seu desenvolvimento como alimento funcional no mercado internacional de frutas (LIAO et al., 2020), sendo cultivada em diversos países, incluindo a região nordeste do Brasil (BHAT; PALIYATH, 2016; IBRAHIM et al., 2018).

As betalaínas são os principais pigmentos presentes na pitaya e exibem uma variedade de propriedades biológicas capazes de promover eficácia contra doenças degenerativas, alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares e gastrointestinais, diabetes e obesidade (GANDÍA-HERRERO; ESCRIBANO; GARCÍA-CARMONA, 2016; LEONG et al., 2017). Apresentando ainda estabilidade em uma ampla faixa de pH e possuindo potencial para a aplicação em diversos alimentos (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2017; IBRAHIM et al., 2018; MERCADO-SILVA, 2018).

A pitaya também é considerada fonte de polifenóis, compostos que são potenciais agentes na prevenção e tratamento de doenças relacionadas ao estresse oxidativo, prevenindo contra o risco de câncer, doenças cardiovasculares e neurológicas assim como apresentam funções antibióticas, antialérgicas, anti-inflamatórias e de proteção fotoquímica (CHEN et al., 2014; KUMAR et al., 2016; KUMAR et al., 2019; AGUIAR et al., 2019).

A pitaya tem atraído interesse de pesquisadores e do setor industrial devido a potencial atividade biológica (BHAGYA RAJ; DASH, 2020). Pesquisas recentes têm sido desenvolvidas utilizando o fruto no enfrentamento de doenças cardiovasculares e hepáticas, obesidade e resistência à insulina, anemia em grávidas, câncer e dislipidemia e alterações no colesterol (RAMLI et al., 2014; SONG et al., 2016; WIDYANINGSIH et al., 2017; JOSHI; PRABHAKAR, 2020; HOLANDA et al., 2021).

O preparo de amostras e a escolha das técnicas de extração são etapas chave no isolamento, identificação e estudo dos compostos bioativos de um material vegetal de forma

satisfatória (PINELA et al., 2019; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021). Os métodos convencionais de extração se destacam pela simplicidade e facilidade de reprodução, no entanto, o emprego de solventes tóxicos à saúde humana e meio ambiente, utilização de temperaturas e tempo elevados, tornam os processos laboriosos, caros, pouco ecológicos e podem afetar o teor de compostos bioativos (RAHMANIAN; JAFARI; WANI, 2015; BARBA et al., 2017; PANJA, 2018; BHAGYA RAJ; DASH, 2020). Desta maneira, o desenvolvimento e aplicação de métodos alternativos de extração torna-se fundamental.

A extração assistida por ultrassom (EAU) é uma técnica que vem ganhando destaque no processamento de alimentos e apresenta vantagens como versatilidade, alta capacidade de reprodutibilidade, utilização de menores temperaturas, tempos e energia para a extração, tornando o processo menos custoso (CHEMAT et al., 2017; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021). A EAU se baseia no princípio da cavitação e utiliza ondas mecânicas com frequência que variam entre 20 kHz a 100 kHz. A cavitação consiste nas etapas de criação, expansão e colapso de microbolhas, que permite maior acessibilidade do solvente às paredes celulares, resultando em uma maior eficiência do processo (ZHANG et al., 2019; BHAGYA RAJ; DASH, 2020; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021).

Esta tecnologia é considerada promissora e tem sido utilizada na extração de compostos bioativos de frutas e hortaliças, na extração de pigmentos, aromas, polissacarídeos e ácidos graxos. Entretanto, torna-se necessária uma extensa investigação para desenvolver ainda mais a aplicabilidade deste método e sua influência nas características dos compostos bioativos (CHEMAT et al., 2017; WEN et al., 2018; LI et al., 2021; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021).

A microencapsulação consiste em um processo de revestimento uniforme de pequenas partículas sólidas, líquidas ou gasosas, com materiais biodegradáveis de modo a separar a fase interna e a matriz circundante. A técnica tem sido aplicada na melhoria nutricional, para mascarar sabores e odores, na prevenção da perda de voláteis, no aumento da vida de prateleira e na prevenção da deterioração, além de beneficiar os consumidores, incluindo a possibilidade de reduzir o uso de gordura, sal e aditivos (FRANCO et al., 2017; YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018). A microencapsulação por atomização se destaca por apresentar vantagens como economia de custo, tempo, energia, disponibilidade de equipamentos, viabilidade comercial, produtos com baixa umidade e atividade de água, boa retenção de compostos fotossensíveis, termossensíveis e oxidáveis e facilidade de transporte e

armazenamento prolongado (YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018; LABUSCHAGNE, 2018).

O presente trabalho apresenta diferencial tecnológico dos encontrados na literatura em virtude da extração assistida por ultrassom como técnica verde de extração, além da utilização da polpa de pitaya como matriz alimentar, uma vez que o fruto apresenta elevada perecibilidade. O objetivo deste trabalho foi extrair betalaínas e compostos fenólicos de polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) cultivada no Agreste de Pernambuco utilizando extração assistida por ultrassom, realizar microencapsulação por atomização do extrato mais rico nestes compostos bioativos e avaliar sua estabilidade.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Material

Os frutos maduros de pitaya (*H. polyrhizus*) foram fornecidos pela Fazenda Santa Fé localizada em Garanhuns, região do Agreste Meridional de Pernambuco, (Latitude: -8.993852434420313, Longitude: -36.41957265610292).

5.2.2 Obtenção da polpa e casca de pitaya *in natura* e liofilizada

Para a definição da melhor parte do fruto a ser utilizada nas etapas subsequentes foram realizadas análises de caracterização da polpa e casca *in natura*. Também foram realizados testes de quantificação de betalaínas e compostos fenólicos com a polpa e casca de pitaya liofilizadas. Para a obtenção da polpa *in natura*, os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados em solução de hipoclorito de sódio (2,5% / 15 minutos) e despulpados (Bonina Compacta, Itabuna, BA). A polpa e casca foram embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade, congeladas e armazenadas a -22 °C. Para a liofilização, a polpa e casca foram raladas e acondicionadas em placas de petri de plástico envolvidas com filme de polivinil cloreto (PVC). Pequenos furos foram realizados com o propósito de facilitar o processo de liofilização. Em seguida as amostras foram congeladas a -80 °C e liofilizadas (Christ Alpha 1-4 LD Plus), disponível no CENAPESQ, durante 48 h sob pressão de 20 milibar. Polpa e casca liofilizadas foram maceradas, embaladas em vidros herméticos e armazenadas a -22 °C.

5.2.3 Caracterização química da polpa e casca *in natura*

Para a caracterização química da polpa e casca *in natura*, a umidade foi determinada em balança infravermelho (MARTE – IDSO Piracicaba/SP) a 105 °C durante 45 minutos. Cinzas, lipídeos e proteínas foram quantificados de acordo com a AOAC (2016). Carboidratos foram calculados por diferença 100% - (% de umidade + % cinzas + % lipídeos + % proteínas).

5.2.4 Caracterização físico-química da polpa e casca de pitaya *in natura*

A atividade de água foi determinada com o auxílio do equipamento analisador de atividade de água (Operator's manual Decagon clevis, AQUA LAB - 4TE) a 25°C.

A umidade foi determinada com o auxílio da balança de infravermelho (MARTE, ID-50, Piracicaba/SP, Brasil) utilizando a temperatura de 105 °C por 30 minutos (amostras secas) e 45 minutos (amostras úmidas).

A acidez titulável foi realizada de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (2016).

O pH foi analisado por meio de medidas diretas utilizando pH-metro TECNAL® TEC-3MP e com soluções tampão de pH 7 e 4 para a aferição do aparelho.

Para a determinação de sólidos solúveis, utilizou-se leitura direta em refratômetro Automatic Refractometer Reichert e expressos em °Brix.

Para a determinação de cor, utilizou-se colorímetro Minolta, modelo CR-400, utilizando o sistema CIELAB. Também foi realizada a relação entre os valores de a^* e b^* , onde se obtém a cor real do objeto analisado (Croma) de acordo com Equação (1):

$$C = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad [\text{Equação 1}]$$

Onde C: cromaticidade; a^* : intensidade da cor vermelha ou verde do extrato; b^* : intensidade da cor amarela ou azul do extrato.

O *Hue-Angle* foi calculado segundo a Equação (2):

$$H^\circ = \tan^{-1} b^*/a^* \quad [\text{Equação 2}]$$

Onde H° : ângulo de tonalidade; a^* : intensidade da cor vermelha ou verde do extrato; b^* : intensidade da cor amarela ou azul do extrato.

A diferença de cor foi calculada a partir da Equação (3):

$$\Delta E = [(L_{\text{amostra}}^* - L_{\text{padrão}}^*)^2 + (a_{\text{amostra}}^* - a_{\text{padrão}}^*)^2 + (b_{\text{amostra}}^* - b_{\text{padrão}}^*)^2]^{0,5} \text{ [Equação 3]}$$

5.2.5 Teor de betalaínas

Realizada de acordo com Stintzing et al. (2005) em espectrofotômetro (Shimadzu UV-Vis 1900i). O extrato etanólico de pitaya obtido por ultrassom foi diluído em solução McIlvaine (6,5 pH). As leituras para betacianinas e betaxantinas foram realizadas à 538 nm e 480 nm, respectivamente, acrescidos de leituras a 600 nm para a correção das leituras anteriores e os resultados foram adequados a seguinte Equação (4):

$$\text{Betalaínas [mg/g]} = \frac{(A \times FD \times PM \times V \times 1000)}{\varepsilon \times l \times P} \text{ [Equação 4]}$$

Onde A corresponde à absorbância; FD é o fator de diluição; PM é o peso molecular para betacianinas (PM=550 g/mol) e betaxantinas (339 g/mol); V corresponde ao volume da solução do pigmento (L); ε é o coeficiente de absorvidade molar para betacianinas (60.000 L mol⁻¹ cm⁻¹) e betaxantinas (48.000 L mol⁻¹ cm⁻¹); l é o caminho ótico da cubeta (1 cm); P é o peso seco do material vegetal (g). O conteúdo de betalaínas totais é a soma das betaxantinas e betacianinas presentes nas amostras.

5.2.6 Teor de compostos fenólicos

Determinado segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999) utilizando espectrofotômetro (Shimadzu UV-Vis 1900i), reagente Folin-Ciocalteau (Merck) e curva padrão de ácido gálico. As leituras foram realizadas a 725 nm e os resultados expressos em µg de fenólicos totais em equivalente de ácido gálico por mL do extrato.

5.2.7 Teor de ácido ascórbico

Determinado por titulometria utilizando 2,6 diclorofenol indofenol segundo metodologia descrita pela AOAC (2016) e os resultados expressos em mg/100g amostra.

5.2.8 Teor de carotenóides

Quantificado por método espectrofotométrico (Shimadzu UV-Vis 1900i) utilizando leitura em comprimento de onda de 450 nm, segundo metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (1999), considerando a expressão matemática descrita por Gross (2004). Os resultados foram expressos em $\mu\text{g}/100\text{g}$.

5.2.9 Ensaios preliminares para a extração assistida por ultrassom e extração convencional

Pré-testes foram realizados utilizando polpa e casca de pitaya em sonda ultrassônica (QR1000 Ultronique, Ecosonics - Brazil), em ambiente protegido de luz a 275 W e 20 kHz, afim de determinar a parte do fruto com maior teor de betalaínas e compostos fenólicos nas seguintes condições: concentração de etanol (50%), taxa de solvente/amostra (50 mL/g) e tempo de imersão no ultrassom (15 minutos).

5.2.10 Extração assistida por ultrassom e extração convencional

Os extratos foram obtidos a partir de planejamento experimental de 2^3 composto por 8 pontos fatoriais (níveis ± 1) e 3 pontos centrais (nível 0), totalizando 11 ensaios (Tabela 1). Os dados obtidos foram ajustados à Equação (5):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 T + \beta_3 M + \beta_4 CT + \beta_5 CM + \beta_6 TM \quad [\text{Equação 5}]$$

Onde Y é a resposta, β_0 é o coeficiente de regressão constante, β_1 , β_2 e β_3 são os coeficientes lineares, C (concentração de etanol), T (taxa de solvente/amostra) e M (tempo de imersão no ultrassom em minutos) são as variáveis independentes e β_4 , β_5 , β_6 são os coeficientes de efeito de interação. As variáveis resposta (dependente) foram o teor de betalaínas e compostos fenólicos.

Tabela 1. Planejamento experimental codificado e decodificado da extração assistida por ultrassom de betalaínas e compostos fenólicos de polpa de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*)

Ensaio	Concentração de etanol (%)	Taxa de solvente/amostra (mL/g)	Tempo de imersão em ultrassom (min)
01	-1 (30)	-1 (40)	-1 (10)
02	+1 (70)	-1 (40)	-1 (10)
03	-1 (30)	+1 (60)	-1 (10)
04	+1 (70)	+1 (60)	-1 (10)
05	-1 (30)	-1 (40)	+1 (20)
06	+1 (70)	-1 (40)	+1 (20)
07	-1 (30)	+1 (60)	+1 (20)
08	+1 (70)	+1 (60)	+1 (20)
09	0 (50)	0 (50)	0 (15)
10	0 (50)	0 (50)	0 (15)
11	0 (50)	0 (50)	0 (15)

A extração foi realizada utilizando sonda ultrassônica de 6,3 cm e ponteira macro de 0,5 cm (QR1000 Ultronique, Ecosonics - Brazil) em ambiente protegido de luz a 275 W e 20 kHz. A amostra foi macerada juntamente com o solvente e inserida em ultrassom. Após a exposição ao ultrassom, o extrato obtido foi centrifugado a 2000 rpm (20 min), filtrado em papel filtro quantitativo C41 faixa preta (Unifil) e armazenado em vidro âmbar a -22 °C. O extrato que apresentou o maior teor de betalaínas e compostos fenólicos, foi submetido às mesmas condições à uma extração convencional (agitação mecânica) a fim de comparar os resultados. A amostra foi macerada juntamente com o solvente e, em seguida mantida sob agitação constante em agitador magnético, centrifugada (2000 rpm/20 min), filtrada em papel filtro quantitativo C41 faixa preta (Unifil) e armazenado em vidro âmbar a -22 °C.

5.2.11 Caracterização físico-química do extrato da polpa de pitaya selecionado

A caracterização físico-química do extrato de polpa de pitaya foi realizada de acordo com o item 5.2.4.

5.2.12 Caracterização de compostos bioativos do extrato da polpa de pitaya selecionado

A quantificação de betalaínas e compostos fenólicos do extrato da polpa de pitaya foi realizada de acordo com os itens 5.2.5 e 5.2.6, respectivamente.

5.2.13 Atividade antioxidante

Para a determinação da atividade antioxidante, foi realizada uma repetição utilizando 5g de amostra nas mesmas condições otimizadas de extração. A análise FRAP (Ferric reducing antioxidant power), foi determinada segundo metodologia descrita por Benzie e Strain (1996). Foram preparadas três diluições diferentes do extrato, em triplicata. Em ambiente protegido de luz, uma alíquota de 90 µL de cada diluição do extrato foi transferida para tubos de ensaio. Em seguida, 270 µL de água destilada foi adicionada, juntamente com 2,7 mL do reagente FRAP. As amostras foram homogeneizadas em vórtex e mantidas em banho-maria a 37°C por 30 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Shimadzu UV-Vis 1900i) a 595 nm, utilizando o reagente FRAP como branco. A partir das diferentes absorbâncias obtidas, plotou-se um gráfico (eixo Y=absorbância; eixo X=diluição) e determinou-se a equação da reta. Os resultados foram expressos em FRAP (µmol Fe²⁺/g).

5.2.14 Microencapsulação por atomização do extrato de betalaínas e compostos fenólicos da polpa de pitaya

A extração que apresentou o maior teor de betalaínas e compostos fenólicos de acordo com o planejamento experimental foi escolhida para as etapas subsequentes. A microencapsulação foi realizada em atomizador modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA) disponível no Laboratório de Processamento de Alimentos da UFRPE. O agente carreador escolhido foi maltodextrina 10 DE (*Ingredion*) por ser comumente utilizado, além de apresentar baixo custo e alta eficiência de encapsulação de compostos como betalaínas e compostos fenólicos (VARGAS-CAMPOS et al., 2018; SOTO-CASTRO et al., 2019). A formulação do extrato mais o agente encapsulante foi homogeneizado em Turrax (15.000 rpm por 5 min) (Tecnal/TE-102). As condições do estudo foram realizadas de acordo com Bakar et al. (2012) com algumas modificações. A temperatura de entrada foi de 165 °C e temperatura de saída de 80 °C. A vazão de alimentação da mistura foi de 0,60 L/h, utilizando bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de 30 m³/h e pressão do ar de 0,6 bar. O extrato microencapsulado foi embalado em sacos flexíveis laminados (*Ziplock*) e armazenado a -22 °C para análises posteriores.

5.2.15 Caracterização físico-química do extrato de polpa de pitaya microencapsulado (EPPM)

A caracterização físico-química do EPPM foi determinada de acordo com o item 5.2.4.

5.2.16 Caracterização física do EPPM

5.2.16.1 Densidade Aparente

Realizada de acordo com Barbosa-Cánovas e Juliano (2005) e Caparino et al. (2012). 2g de amostra foram transferidos para uma proveta graduada de 10 mL, onde o microencapsulado foi compactado batendo a proveta 50 vezes sobre a bancada. A densidade foi calculada de acordo com a Equação (6) e o resultado expresso em g/mL:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad [\text{Equação 6}]$$

Onde: m é a massa da amostra (g) e V é o volume total que o pó ocupou na proveta (mL).

5.2.16.2 Densidade Absoluta

Determinada por metodologia descrita por Caparino et al. (2012) a 25 °C em um picnômetro com termômetro com algumas modificações. 2g de amostra foram colocados em um picnômetro líquido vazio (25 ml) e preenchido com volume medido de água destilada. O resultado foi expresso em g/mL.

5.2.16.3 Porosidade Intragranular (ε)

Calculada de acordo com a Equação (7):

$$\varepsilon = \frac{1 - \rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad [\text{Equação 7}]$$

Onde: ρ_{ap} é a densidade aparente (g/mL) e ρ_{abs} é a densidade absoluta (g/mL) da amostra.

5.2.16.4 Solubilidade

Determinada de acordo com a metodologia proposta por Cano-Chauca et al. (2005). 1g de amostra foi diluída em 100 mL de água destilada, seguida por agitação magnética durante 5 minutos e seguida por centrifugação a 2000 rpm por 10 minutos. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi pipetada em placa de Petri de vidro, esterilizada e previamente pesada e levada para estufa com circulação e renovação de ar (Marconi, MA-035) a 105 °C por 5 h. Ao final do processo, a placa foi pesada e a solubilidade obtida por diferença de peso.

5.2.16.5 Higroscopicidade

Determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000) com algumas modificações. 1 g de amostra microencapsulada foi inserida em recipiente hermético com solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C. Após uma semana, as amostras foram pesadas e os resultados expressos em g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g).

5.2.17 Avaliação da eficiência da encapsulação do EPPM e atividade antioxidante deste extrato

A eficiência da encapsulação (EE) foi determinada de acordo com metodologia descrita por Saénz et al. (2009). Para o teor total de compostos fenólicos (TTF) e betalaínas (TTB) do extrato microencapsulado, 100 mg do extrato microencapsulado foram dispersos em 1 mL da solução etanol : ácido acético : água destilada (50:8:42 v/v). A mistura foi agitada em Vórtex por 1 min, e filtrada em microfiltro de 0,45 µm. Para o teor de compostos fenólicos (TFS) e betalaínas (TBS) na superfície da microcápsula, 100 mg do extrato microencapsulado foram dispersos em 1 mL de etanol : metanol (1:1 v/v), agitado em Vórtex por 5 min e filtrado em microfiltro de 0,45 µm. O teor de fenólicos e betalaínas foram determinados de acordo com metodologias descritas por Wettasinghe e Shahidi (1999) e Stintzing et al. (2005), respectivamente.

A eficiência da encapsulação (EE) de compostos fenólicos e betalaínas foi determinada de acordo com a Equação (8):

$$EE (\%) = \frac{\text{Teor Total de Compostos} - \text{Teor de Compostos na Superfície da Cápsula}}{\text{Teor Total de Compostos}} \times 100 \quad [\text{Equação 8}]$$

A atividade antioxidante foi realizada de acordo com o item 5.2.13.

5.2.18 Rendimento do extrato de polpa de pitaya microencapsulado

O rendimento (Y) foi avaliado por gravimetria considerando a relação entre a massa total do extrato microencapsulado e a massa da solução (extrato + material de parede) que alimentou o sistema, com base no teor de matéria seca (FAZAELI et al., 2012), conforme a Equação (9).

$$Y (\%) = \frac{\text{Massa total do microencapsulado (g)}}{\text{Massa seca da solução de alimentação (extrato+material de parede) (g)}} \times 100 \quad [\text{Equação 9}]$$

5.2.19 Retenção do teor de betalaínas e compostos fenólicos no extrato microencapsulado

A retenção (R) de betalaínas e compostos fenólicos foi definida de acordo com a Equação (10), desconsiderando o agente carreador:

$$R (\%) = \frac{\text{Conteúdo de compostos presentes nas microcápsulas}}{\text{Conteúdo de compostos presentes na solução de alimentação}} \times 100 \quad [\text{Equação 10}]$$

5.2.20 Estudo da estabilidade do EPPM

Realizado de acordo com Nunes et al. (2015). As amostras foram colocadas em embalagens flexíveis laminadas (*Ziplock*) e armazenadas em condições ambientes (25 ± 1 °C) em ambiente protegido de luz. Foram avaliados o conteúdo total de fenólicos, betalaínas, cor, umidade relativa, atividade de água e pH no extrato microencapsulado nos tempos de 0, 3, 8, 15, 30, 45, 60 e 90 dias.

5.2.21 Análise Estatística

Análise de variância (ANOVA), o teste de falta de ajuste (teste F), a determinação dos coeficientes de regressão e a obtenção das superfícies de resposta foram realizadas com o auxílio do software *Statistica 7.0* (StatSoft, Tulsa, EUA) ao nível de 5% de significância. A determinação das melhores condições de extração do processo foi determinada utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM). As determinações foram realizadas em triplicata.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Composição centesimal, caracterização físico-química e de compostos bioativos da casca e polpa de pitaya *in natura*

Os resultados da composição centesimal da casca e polpa de pitaya vermelha apresentaram proximidade entre os dados encontrados na literatura (Tabela 2).

Tabela 2. Composição centesimal da casca e polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) *in natura* (g/100 g base úmida)

Constituintes	Casca		Polpa	
	Presente estudo	Outros autores	Presente estudo	Outros autores
Umidade	92,93 ^a ± 0,25	-	87,81 ^b ± 0,54	83-89 ³ 89,46 ⁴
Proteína	0,44 ^b ± 0,04	0,90 ¹ 6,30 ²	0,61 ^a ± 0,04	0,16-0,23 ³ 0,50 ⁴
Lipídios	0,06 ^b ± 0,01	0,10 ¹ 1,31 ²	0,17 ^a ± 0,01	0,21-0,61 ³ 1,17-1,43 ⁵
Cinzas	1,22 ^a ± 0,01	1,30 ²	0,72 ^b ± 0,00	0,4-0,68 ³
Carboidratos	5,33 ^b ± 0,22	8,10 ¹ 8,92 ²	10,91 ^a ± 0,25	9,9-14,1 ³
Referências			¹ Zaid et al., 2019	
			² Utpott et al., 2020	
			³ Mercado-Silva, 2018	
			⁴ Holanda et al., 2021	
			⁵ Le Bellec e Vaillant, 2011	

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

Fonte: A autora (2021)

Os teores de atividade de água para a casca e polpa de pitaya não diferiram significativamente ($p > 0,05$) (Tabela 3). Frutos de cacto geralmente possuem elevados teores de água livre, devido à presença de tecidos grossos em sua estrutura, permitindo assim, a captação e o armazenamento de grandes volumes de água (INGLESE et al., 2017). Os valores do presente estudo para a caracterização físico-química polpa de pitaya estão próximos aos encontrados na literatura (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização físico-química da casca e polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) *in natura*

Análises físico-químicas	Presente estudo		Outros autores
	Casca	Polpa	Polpa
Atividade de água (aw)	0,994 ^a ± 0,00	0,993 ^a ± 0,00	-
Sólidos solúveis (° Brix)	3,33 ^b ± 0,15	10,86 ^a ± 0,05	7,1-10,7 ²
pH	5,24 ^a ± 0,08	4,11 ^b ± 0,01	4,3-4,7 ¹
Acidez titulável (mg/100 g ácido málico)	0,11 ^b ± 0,00	0,40 ^a ± 0,01	0,2-0,35 ³
Cor (CIELAB)			
L*	30,11 ^a ± 0,62	19,23 ^b ± 0,17	-
a*	28,20 ^a ± 0,18	11,29 ^b ± 0,72	-
b*	5,71 ^a ± 0,21	2,40 ^b ± 0,18	-
Croma	28,77 ^a ± 0,19	11,54 ^b ± 0,67	-
Hue	11,44 ^a ± 0,40	12,06 ^a ± 1,65	-

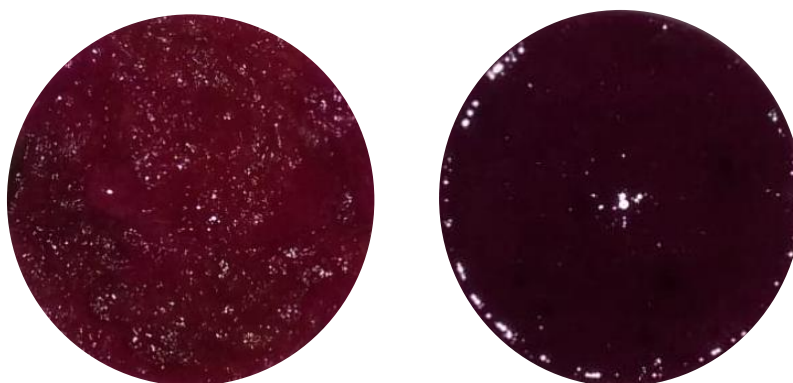
¹Stintzing et al., 2003²Le Bellec; Vaillant, 2011³ Mercado-Silva, 2018**Referências**

L* (Luminosidade), a* (Coordenada vermelho/verde), b* (Coordenada amarelo/azul), C* (Saturação), Hue (Tonalidade)

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa (p<0,05) entre as linhas

Fonte: A autora (2022)

Para as coordenadas de cor, a polpa de pitaya vermelha apresentou tonalidade roxa, escura e intensa, enquanto que a casca apresentou tonalidade vermelha-rosada e mais clara (Tabela 3 e Figura 1). Esta coloração está associada diretamente a quantidade de betalaínas, pigmentos presentes em maior quantidade na polpa de pitaya vermelha (LE BELLEC; VAILLANT, 2011; MERCADO-SILVA, 2018).

Figura 1. Casca e polpa de pitaya vermelha (*Hylocereus polyrhizus*)**Fonte:** A autora (2022)

A polpa de pitaya apresentou resultado significativamente (p<0,05) superior para betalaínas quando comparada a casca (Tabela 4).

Tabela 4. Compostos bioativos da casca e polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) *in natura* (100g)

Constituintes	Casca	Polpa
Compostos fenólicos (mg EAG)	147,36 ^b ± 1,21	227,11 ^a ± 1,21
Betalaínas (mg)	4,95 ^b ± 0,01	37,97 ^a ± 0,03
Ácido ascórbico (mg)	7,77 ^b ± 0,46	23,66 ^a ± 1,18
Carotenoides (µg)	357,18 ^a ± 5,71	17,67 ^b ± 0,08

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

Fonte: A autora (2022)

Os teores de compostos fenólicos, betalaínas e ácido ascórbico foram significativamente superiores ($p < 0,05$) na polpa da pitaya. Vaillant et al. (2005) encontraram valores para compostos fenólicos que variaram de 5,6 a 7,4 µg EAG/mL. Zhu et al. (2021) obtiveram valores entre 13,09 e 13,61 mg/100 mL de betacianinas em polpa de pitaya termosonicada. Mercado-Silva encontraram valores para ácido ascórbico que variaram de 4-25 mg/100g em diferentes polpas de pitaya *in natura*. O teor de carotenoides foi significativamente superior ($p < 0,05$) na casca de pitaya (Tabela 4). Mercado-Silva (2018) encontraram valores que variaram de 0,005 a 0,012 mg/100g para carotenoides em polpa de pitaya *in natura*.

Testes foram realizados considerando a extração de betalaínas e compostos fenólicos de casca e polpa de pitaya vermelha utilizando extração assistida por ultrassom com o propósito de determinar qual parte do fruto apresentaria maior teor destes bioativos. A polpa de pitaya vermelha apresentou valores significativamente superiores ($p < 0,05$) para betalaínas e compostos fenólicos, optando-se por utilizar a polpa para as etapas subsequentes do estudo (Tabela 5).

Mello et al. (2015) obtiveram teor de fenólicos inferior (40,68 mg EAG/100g) e teor de betacianina superior (101,04 mg/100g) ao encontrado no presente estudo em amostra seca de casca de pitaya *in natura*. Zhu et al. (2021) estudando polpa de pitaya termosonicada obtiveram valores entre 13,09 e 13,61 mg/100 mL de betacianinas. O conteúdo de betalaínas e compostos fenólicos varia de acordo com as espécies, partes do fruto estudadas e metodologias de extração empregadas (SUH et al., 2014).

Tabela 5. Extratos de betalaínas e compostos fenólicos da casca e polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) obtidos por extração assistida por ultrassom

	Casca	Polpa
Betacianinas (mg/g)	0,23 ^b ± 0,00	0,70 ^a ± 0,00
Betaxantinas (mg/g)	0,15 ^b ± 0,00	0,33 ^a ± 0,00
Betalaínas (mg/g)	0,38 ^b ± 0,00	1,04 ^a ± 0,00
Compostos fenólicos (µg EAG/mL)	236,19 ^b ± 1,06	301,39 ^a ± 1,59

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

Fonte: A autora (2022)

5.3.2 Planejamento experimental para a extração assistida por ultrassom (EAU) de betalaínas e compostos fenólicos de polpa de pitaya

A polpa de pitaya foi escolhida para a realização de um planejamento experimental utilizando EAU com o propósito de determinar a condição capaz de extrair maior teor de betalaínas e compostos fenólicos. Os resultados do planejamento experimental estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Planejamento experimental e ANOVA para a extração assistida por ultrassom de betalaínas e compostos fenólicos de polpa de pitaya

Ensaios	Bc (mg/g)	Bx (mg/g)	Bt (mg/g)	CF (mg EAG/g)
01	1,48 ± 0,00	0,54 ± 0,00	2,02 ^a ± 0,00	10,94 ^h ± 0,06
02	0,91 ± 0,00	0,35 ± 0,00	1,26 ^e ± 0,00	11,99 ^g ± 0,06
03	1,08 ± 0,00	0,71 ± 0,00	1,79 ^c ± 0,00	14,14 ^e ± 0,02
04	1,06 ± 0,00	0,17 ± 0,00	1,23 ^f ± 0,00	13,46 ^f ± 0,01
05	1,10 ± 0,00	0,56 ± 0,00	1,66 ^d ± 0,00	16,14 ^a ± 0,01
06	0,70 ± 0,00	0,36 ± 0,00	1,06 ^{gh} ± 0,00	14,52 ^d ± 0,05
07	1,30 ± 0,01	0,54 ± 0,00	1,84 ^b ± 0,01	16,25 ^a ± 0,04
08	0,69 ± 0,00	0,22 ± 0,00	0,91 ^j ± 0,00	15,35 ^b ± 0,05
09	0,71 ± 0,00	0,33 ± 0,00	1,04 ⁱ ± 0,00	15,07 ^c ± 0,08
10	0,71 ± 0,00	0,35 ± 0,00	1,06 ^h ± 0,00	15,27 ^b ± 0,08
11	0,76 ± 0,00	0,31 ± 0,00	1,07 ^g ± 0,00	15,05 ^c ± 0,02
ANOVA	Bt			CF
R ²	0,7324			0,8881
Fcal	1,82			5,29
F (5%)	4,53			4,53

CF (Compostos fenólicos), Bc (Betacianinas), Bx (Betaxantinas), Bt (Betalaínas)

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

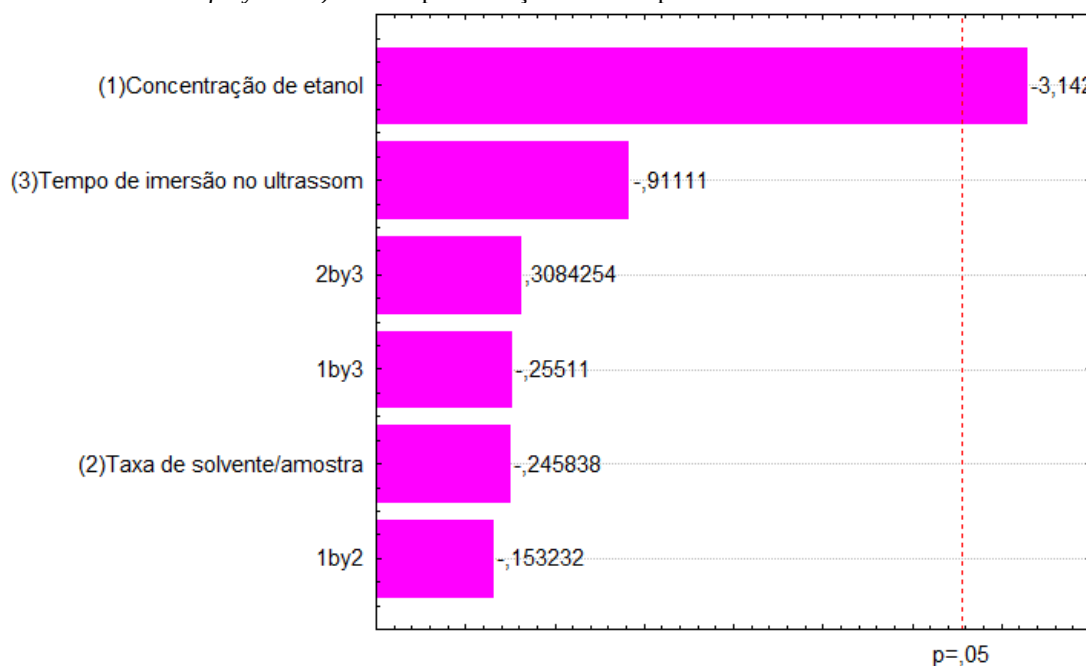
Fonte: A autora (2022)

5.3.2.1 Betalaínas

Os teores de betalaínas variaram de 0,91 mg/g a 2,02 mg/g nos extratos de polpa de pitaya obtidos por ultrassom (EPPU). O maior teor encontrado para esta variável de resposta foi de 2,02 mg/g (Ensaio 1), obtido na condição de concentração de etanol de 30%, taxa de solvente/amostra de 40 mL/g e tempo de imersão no ultrassom de 10 minutos.

No diagrama de pareto (Figura 2), a linha vertical que cruza o gráfico destaca as variáveis e combinações de variáveis independentes que influenciam de modo significativo na resposta de cada composto estudado. Variáveis independentes com valor de $p < 0,05$ foram considerados como tendo efeito significativo no nível de confiança de 95%. Desta maneira, observa-se que os teores de betalaínas nos EPPU foram significativamente influenciados pela variável concentração de etanol. As betalaínas são compostos solúveis em água, portanto sua extração pode ser influenciada diretamente pela concentração de etanol presente no solvente (GANDÍA-HERRERO; ESCRIBANO; GARCÍA-CARMONA, 2016).

Figura 2. Diagrama de pareto para o teor de betalaínas nos extratos de polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) obtidos por extração assistida por ultrassom



Fonte: A autora (2022)

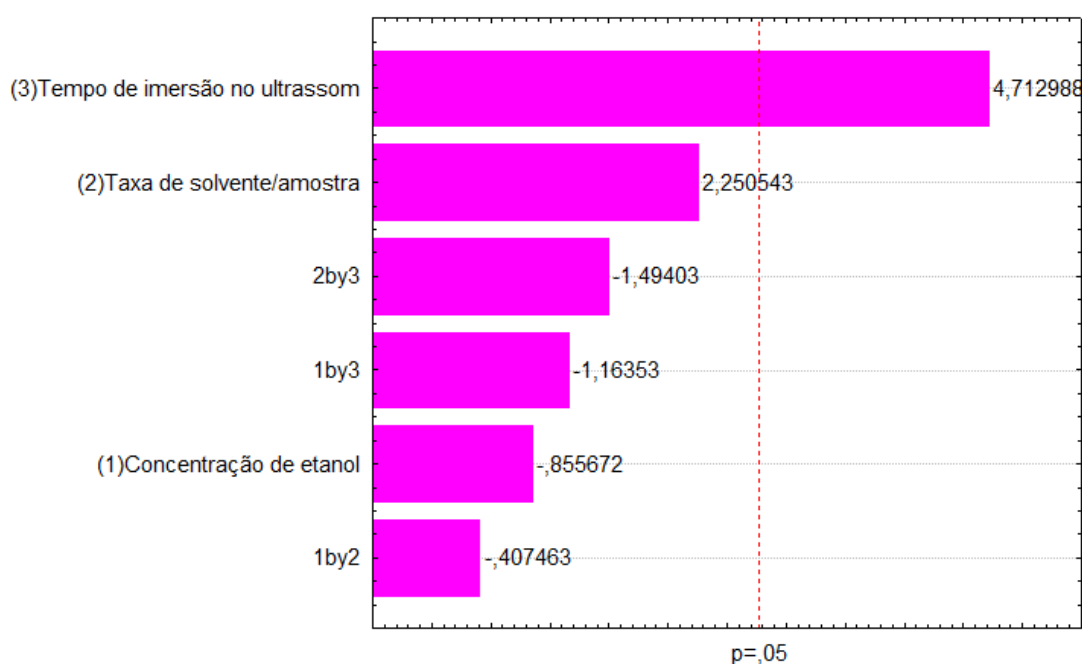
O presente modelo para a resposta teor de betalaínas exibiu valor de R^2 de 0,7324 e F calculado da regressão inferior (1,82) ao F Tabelado (4,53), apontando desta forma, que o modelo não foi preditivo, uma vez que não indicou a capacidade da equação de representar a correlação real entre variáveis independentes e dependentes (Tabela 6).

5.3.2.2 Compostos fenólicos

Os teores de compostos fenólicos variaram de 10,94 mg EAG/g a 16,25 mg EAG/g para os EPPU (Tabela 6). Os maiores valores para esta variável foram de 16,14 mg EAG/g (Ensaio 5) e 16,25 mg EAG/g (Ensaio 7). No entanto, os dois ensaios não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$).

Variáveis independentes com valor de $p < 0,05$ foram consideradas como tendo efeito significativo no nível de confiança de 95% (Figura 3). Desta forma, observa-se que os teores de compostos fenólicos nos EPPU foram significativamente influenciados pela variável tempo de imersão no ultrassom.

Figura 3. Diagrama de pareto para os teores de compostos fenólicos nos extratos de polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) obtidos por extração assistida por ultrassom



Fonte: A autora (2022)

A Equação (5) explica 88,81% desta variável. A Equação codificada apenas com as variáveis significativas é fornecida abaixo:

$$Y = 14,38 + 1,46 M \text{ (Equação 5)}$$

O atual modelo para o teor de compostos fenólicos exibiu valor de R^2 de 0,8881 e F calculado da regressão superior (5,29) ao F Tabelado (4,53) (Tabela 6), expressando que o modelo foi preditivo, uma vez que indicou a capacidade da equação de representar a correlação real entre variáveis independentes e dependentes.

O efeito do sinal positivo para a variável tempo de imersão no ultrassom (+1,46) (Equação 5), indicou que à medida que o tempo de imersão no ultrassom aumentou, houve extração significativa ($p < 0,05$) de compostos fenólicos. Durante a extração, o efeito combinado entre a cavitação e o efeito térmico da matriz do material proporciona o aumento dos poros da parede celular, resultando em um maior contato entre soluto e solvente, que por sua vez, leva ao aumento da taxa de transferência de massa e maior eficiência de extração até que o estado de equilíbrio seja atingido (SALAR; PUREWAL; BHAT; PALIYATH, 2016).

A utilização de maiores tempos de extração possibilita a duração do tempo de contato entre a parede celular do material e o solvente circundante, permitindo uma maior difusão de compostos fenólicos das células vegetais para o meio fluido e vice-versa (AL-DHABI et al., 2017; MARZUKI; HAMID; WAHAB, 2018; MARZUKI et al., 2018; BHAGYA RAJ; DASH, 2020). No presente estudo, a utilização de tempo de imersão no ultrassom de 20 minutos foi suficiente para a extração dos maiores teores de compostos fenólicos (Ensaio 5 e Ensaio 7) no planejamento experimental. Do ponto de vista econômico, a utilização de tempos curtos de processamento, resultam em processos mais rentáveis.

5.3.2.3 Condições selecionadas para o planejamento experimental da extração de compostos fenólicos e betalaínas de polpa de pitaya por ultrassom

As condições ideais para a extração foram definidas a partir da predição do modelo para compostos fenólicos. Os maiores valores para variável foram de 16,14 mg EAG/g (Ensaio 5) e 16,25 mg EAG/g (Ensaio 7). No entanto, os dois ensaios não apresentaram diferença significativa entre si ($p < 0,05$), optando-se pela extração nas condições: concentração de etanol (30 %), taxa de solvente/amostra (40 mL/g) e tempo de imersão no ultrassom (20 minutos).

5.3.3 Caracterização físico-química e quantificação de betalaínas e compostos fenólicos do extrato de pitaya selecionado

Após a melhor condição de extração ser definida, o EPPU foi replicado utilizando extração convencional por maceração (EPPC) nas mesmas condições de concentração de etanol, taxa de solvente/amostra e tempo de extração. Os extratos foram submetidos a análises de caracterização físico-química e quantificação de betalaínas e compostos fenólicos.

Os teores de atividade de água e de acidez titulável não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre o EPPU e o EPPC (Tabela 7). O teor de umidade do EPPU foi

significativamente inferior ($p < 0,05$) que o EPPC, fator que pode ser atribuído ao aumento de temperatura durante o processamento e consequente evaporação do etanol (CALDAS et al. 2018). A temperatura é um fator que exerce influência direta no pH das substâncias, pois atua na quebra de ligações entre oxigênio e hidrogênio, desta forma, o EPPU pode ter apresentado um valor significativamente superior ($p < 0,05$) de pH quando comparado ao EPPC (Tabela 7). O teor de sólidos solúveis foi significativamente superior ($p < 0,05$) para o EPPU. Fator que também pode ter sido influenciado pela temperatura elevada e evaporação do etanol no processamento (CALDAS et al., 2018), resultando na concentração de sólidos solúveis do extrato.

Tabela 7. Características físico-químicas do extrato de polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) obtido por extração assistida por ultrassom e por extração convencional

	Ensaio 05 obtido por extração assistida por ultrassom	Ensaio 05 obtido por extração convencional
Aw	0,99 ^a ± 0,00	0,99 ^a ± 0,00
Umidade (%)	94,86 ^b ± 0,25	96,95 ^a ± 0,27
pH	4,71 ^a ± 0,00	4,33 ^b ± 0,00
Acidez titulável (g/100 g ácido málico)	0,12 ^a ± 0,00	0,11 ^a ± 0,03
Sólidos solúveis (° Brix)	9,86 ^a ± 0,05	8,5 ^b ± 0,00
Cor (CIELAB)		
L*	21,60 ^b ± 0,11	30,75 ^a ± 0,11
a*	16,64 ^b ± 0,33	57,13 ^a ± 0,21
b*	7,41 ^a ± 0,12	-3,46 ^b ± 0,28
Croma	18,22 ^b ± 0,35	57,24 ^a ± 0,21
Hue	24,01 ^a ± 0,07	3,47 ^b ± 0,28

L* (Luminosidade), a* (Coordenada vermelho/verde), b* (Coordenada amarelo/azul), C* (Saturação), Hue (Tonalidade)

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

Fonte: A autora (2022)

A luminosidade e a coordenada a* do EPPC foram significativamente superiores ($p < 0,05$) ao EPPU. O EPPU apresentou saturação (C*) significativamente inferior ($p < 0,05$) ao EPPC. Para o ângulo de tonalidade de cor (h*), o EPPU apresentou valor significativamente superior ($p < 0,05$) que o EPPC. Desta forma, o EPPU apresentou coloração vermelha, mais escura e menos saturada, enquanto que o EPPC apresentou coloração vermelha, clara e mais saturada. Esses resultados estão diretamente relacionados à maior extração de betalaínas pelo fenômeno de cavitação utilizando a extração assistida por ultrassom, assim como à evaporação

do solvente etanol durante o processamento do EPPU (Tabela 7) (ZHANG et al., 2019; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021).

O EPPU apresentou teores de betalaínas e compostos fenólicos significativamente mais elevados ($p < 0,05$) quando comparado com o EPPC (Tabela 8).

Tabela 8. Teores de betalaínas e compostos fenólicos nos extratos de polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) obtidos por extração assistida por ultrassom e por extração convencional

	Ensaio 05 obtido por extração assistida por ultrassom	Ensaio 05 obtido por extração convencional
Betacinaninas (mg/g)	1,10 ^a ± 0,00	0,92 ^b ± 0,00
Betaxantinas (mg/g)	0,56 ^a ± 0,00	0,16 ^b ± 0,00
Betalaínas (mg/g)	1,66 ^a ± 0,00	1,08 ^b ± 0,01
Compostos fenólicos (mg EAG/g)	16,14 ^a ± 0,01	8,60 ^b ± 0,02

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

Fonte: A autora (2022)

Os resultados da extração de compostos fenólicos encontrados por Caldas et al. (2018), Rocchetti et al. (2019) e Meregalli et al. (2020) concordam com o presente estudo. Observou-se que a extração assistida por ultrassom proporcionou teor de compostos fenólicos quase duas vezes maior que a extração convencional. Em geral, as técnicas de extração emergentes, tal como a extração assistida por ultrassom mostram melhores respostas que as técnicas convencionais por maceração e por agitação, indicando eficiência na extração de teores de betalaínas e compostos fenólicos (KOU BAA et al., 2016; RORIZ et al., 2017).

5.3.4 Caracterização físico-química e física do extrato de polpa de pitaya microencapsulado (EPPM)

Após definir a melhor condição de extração em ultrassom para betalaínas e compostos fenólicos, o EPPU foi submetido à microencapsulação por atomização com o propósito de conferir maior estabilidade. Análises de caracterização físico-química e física foram realizadas no EPPM.

O EPPM apresentou atividade de água de 0,15, valor abaixo dos encontrados por Shaaruddin et al. (2017) e Yamashita et al. (2017). O valor para atividade de água do presente estudo apresentou-se inferior ao da faixa considerada limitante (LEONG et al., 2011) para o desenvolvimento de microrganismos (0,60), sugerindo estabilidade microbiológica.

Tabela 9. Características físico-químicas do extrato de polpa de pitaya microencapsulado

Análises	Ensaio 05
Aw	0,15 ± 0,00
Umidade (%)	4,15 ± 0,14
pH	4,37 ± 0,01
Acidez titulável (g/100 g ácido málico)	0,55 ± 0,03
Cor (CIELAB)	
L*	77,17 ± 0,09
a*	29,20 ± 0,22
b*	-9,36 ± 0,02
Croma	30,67 ± 0,21
Hue	17,77 ± 0,12

L* (Luminosidade), a* (Coordenada vermelho/verde), b* (Coordenada amarelo/azul), C* (Saturação), Hue (Tonalidade)

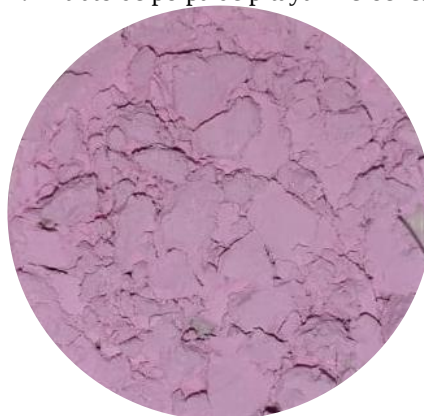
Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa entre as linhas

Fonte: A autora (2022)

O teor de umidade do EPPM foi superior (Tabela 9) aos encontrados por outros autores utilizando extrato microencapsulado de casca e polpa de pitaya (0,29 % a 0,32 %) (BAKAR et al., 2013; SHAARUDDIN et al., 2017). Até o presente momento não foi encontrado regulamento técnico brasileiro para produtos atomizados que estabeleça limite máximo para umidade. Entretanto, há normativas para outros produtos que variam entre 3,5 a 15 % de umidade permitido para leite em pó integral, café em pó e farinha de trigo (BRASIL, 1996; BRASIL, 2005; BRASIL, 2010).

O pH se manteve na faixa de 4 (Tabela 9), indicando estabilidade microbiológica. Para acidez titulável, o EPPM apresentou valor de 0,55 g/100 g ácido málico (Tabela 7). Esse fator pode estar atribuído à concentração dos ácidos orgânicos, uma vez que se trata de uma substância seca e, portanto, mais concentrada em relação ao teor de ácidos.

O EPPM apresentou luminosidade elevada e diminuição das coordenadas a* e b* (Tabela 9), aspecto atribuído à utilização do agente encapsulante maltodextrina, que por possuir coloração branca, pode funcionar como um diluente de pigmentos como betalainas nas substâncias em pó (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012), resultando em uma coloração rosada (Figura 4).

Figura 4. Extrato de polpa de pitaya microencapsulado

Fonte: A autora (2022)

O valor de croma (C^*) representa a saturação de uma determinada cor. Quanto menor for a quantidade de cinza em uma amostra, mais saturada será a cor. O valor para croma no EPPM foi de 30,67, indicando baixa saturação. O ângulo de tonalidade de cor (h^*) pode variar de 0 a 360°, sendo cada quadrante responsável pelas tonalidades vermelha, amarela, verde e azul. No presente estudo, o EPPM apresentou valor de 17,77 para o h^* , mostrando tendência de cor para tons de rosa (Figura 4).

As propriedades físicas dos alimentos são de grande interesse para a indústria de alimentos uma vez que são essenciais para a concepção e operação racional do processamento, distribuição e condições de armazenamento dos alimentos (BERK, 2018). A densidade é uma análise importante quando se trata de substâncias desidratadas. Ela é dividida em densidade aparente e absoluta. A densidade aparente é definida como a razão entre a massa e o volume do sólido englobando os espaços vazios. Por outro lado, a densidade absoluta é considerada a densidade real da substância, desconsiderando os espaços entre as partículas. É uma propriedade que deve ser levada em consideração na tecnologia de alimentos, pois as embalagens de alimentos são na maioria das vezes preenchidas volumetricamente, mas vendidas por peso (BERK, 2018).

Tabela 10. Características físicas do extrato de polpa de pitaya microencapsulado

Densidade aparente (g/mL)	0,46 ± 0,01
Densidade absoluta (g/mL)	1,06 ± 0,00
Porosidade intragranular (ϵ)	0,50 ± 0,01
Solubilidade (%)	98,47 ± 0,07
Higroscopicidade (g/100g)	13,62 ± 0,14

Fonte: A autora (2022)

A densidade aparente do EPPM foi de 0,46 g/mL, enquanto que a densidade absoluta foi 1,06 g/mL. Valores elevados para densidade aparente resultam em embalagens maiores devido ao menor volume ocupado por unidade de massa, enquanto valores mais baixos podem aumentar a possibilidade de oxidação do produto, uma vez que possuem maior quantidade de oxigênio no pó, reduzindo a estabilidade de armazenamento (BERK, 2018).

A porosidade intragranular é uma propriedade física essencial para o estudo de substâncias microencapsuladas, pois se relaciona diretamente a aspectos como reidratação e reconstituição de desidratados (ISLAM et al., 2017). O EPPM apresentou porosidade intragranular de 0,50 ϵ . Segundo Zotarelli et al. (2017), produtos desidratados com valores elevados de porosidade e valores baixos para densidade de partículas apresentam espaços entre partículas com presença de moléculas de oxigênio, influenciando diretamente na degradação do teor de compostos bioativos por meio de reações de oxidação.

A solubilidade é uma propriedade física que consiste na capacidade que um determinado material (soluto) possui de se dissolver em um solvente. Ela está associada diretamente a fatores como a composição do soluto e estado físico da matéria. A solubilidade afeta potencialmente a disponibilidade dos compostos encapsulados quando as partículas carregadas são incorporadas em um sistema alimentar (DAZA et al., 2016). O EPPM apresentou valor superior (Tabela 10) ao encontrado por Shaaruddin et al. (2017) com extrato de polpa de pitaya vermelha (96,12%). É importante informar que os estudos utilizaram maltodextrina 10 DE como agente carreador, material que possui solubilidade elevada. No entanto as variáveis do processo foram diferentes em cada estudo. Segundo Jafari et al. (2017) a solubilidade de substâncias microencapsuladas pode sofrer influências de fatores, como matéria-prima utilizada, agentes carreadores e condições utilizadas durante a microencapsulação como fluxo de ar, temperatura e baixas taxas de alimentação.

A higroscopicidade é a capacidade que um material seco possui de absorver a umidade do ambiente. O estudo da absorção de umidade em substâncias alimentares é essencial na prática, funcionalidade e utilização destas. É importante selecionar procedimentos de secagem, materiais de embalagem e métodos de armazenamento adequados (SCHUCK, 2011). O EPPM apresentou higroscopicidade próxima a encontrada por Shaaruddin et al. (2017) em microencapsulação de extrato de polpa de pitaya vermelha (14,12 g/100 g). Valores baixos para higroscopicidade possibilitam maior estabilidade física, química e microbiológica de alimentos em pó (SCHUCK, 2011).

5.3.5 Avaliação da eficiência, retenção, rendimento e quantificação de compostos bioativos e atividade antioxidante do extrato de polpa de pitaya microencapsulado

Obteve-se uma elevada EE das betalaínas (Tabela 11). Este resultado concorda com os estudos realizados por Vargas-Campos et al. (2018) e Soto-Castro et al. (2019) com extratos de betalaínas de fruta de cacto microencapsulados.

Tabela 11. Eficiência da encapsulação do extrato de polpa de pitaya rico em betalaínas e compostos fenólicos

	Ensaio 05
EE (%) betalaínas	94,94 ± 0,02
EE (%) compostos fenólicos	60,75 ± 0,07

Fonte: A autora (2022)

Os compostos fenólicos também apresentaram uma boa EE (60,75%). Valores de EE na faixa de 60 a 90% são considerados relevantes na microencapsulação por atomização. Quanto maior for a EE, maior será a capacidade de manter o composto dentro das partículas (ENCINA et al., 2016; VISHNU et al., 2017). Fatores como as condições de secagem e matriz alimentar são cruciais na obtenção de um microencapsulado com alta EE. O material de parede utilizado também é importante, uma vez que permite a interação compostos bioativos-polímero devido a interações eletrostáticas e ligações de hidrogênio (VERGARA et al., 2014; ROCHA et al., 2019).

Houve um decréscimo no teor de betalaínas e compostos fenólicos após a microencapsulação do extrato da polpa de pitaya. Isto pode ser atribuído a aspectos operacionais, tais como temperatura de secagem elevada que podem degradar os compostos termossensíveis presentes no extrato e escolha do material de parede e quantidade de material de parede utilizado. Cada material de parede possui características diferentes que permitirão ou não uma retenção eficiente de compostos bioativos (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016; TONTUL; TOPUZ, 2017; SOTO-CASTRO, 2019). O EPPM apresentou menor retenção para betaxantinas (9,74%), quando comparada às betacianinas (45,90%), retenção de 33,63% para o teor total de betalaínas e 12,54% para compostos fenólicos. Comportamento semelhante foi observado por Soto-Castro et al. (2019) em estudo realizado com microencapsulação de betalaínas em frutos de cacto. Fator este que pode estar relacionado à baixa estabilidade das betaxantinas ao calor (SOTO-CASTRO et al., 2019). Um método para aumentar a retenção de betalaínas e compostos fenólicos seria a utilização de maiores concentrações de maltodextrina

na solução de alimentação, uma vez que o agente carreador permite uma maior proteção dos compostos contra agentes externos, no entanto são necessários estudos para que outras características não sejam alteradas (PANG et al., 2014).

Tabela 12. Quantificação de compostos bioativos, retenção (%) e rendimento (%) no extrato de polpa de pitaya microencapsulado

Compostos Bioativos	
Betacinaninas (mg/g)	0,50 ± 0,01
Betaxantinas (mg/g)	0,05 ± 0,00
Betalaínas (mg/g)	0,55 ± 0,01
Compostos fenólicos (mg EAG/g)	2,02 ± 0,01
Retenção (%)	
Betacinaninas	45,90 ± 1,07
Betaxantinas	9,74 ± 0,14
Betalaínas	33,63 ± 0,66
Compostos fenólicos	12,54 ± 0,11
Rendimento (%)	
	17,21 ± 0,11

Fonte: A autora (2022)

O rendimento da microencapsulação é considerado uma informação importante na indústria de alimentos, uma vez que maiores rendimentos sinalizam maiores benefícios para a indústria (CAN KARACA; GUZEL; AK, 2016). O EPPM apresentou rendimento inferior (Tabela 12) ao encontrado na literatura (64,9%) com fruto de cacto (CARMONA et al., 2021). Em matrizes com elevados teores de açúcares em sua composição, tais como a pitaya, gotículas colidem na câmara de secagem, causando depósitos na superfície de secagem e reduzindo, desta forma, o rendimento. Para além disso, a utilização de maltodextrinas com baixas dextroses equivalentes, permitem maiores rendimentos, uma vez que maltodextrinas com altas dextroses equivalentes tendem a aderir à câmara de secagem, resultando em menor rendimento (CAI; CORKE, 2000; TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016; TONTUL; TOPUZ, 2017).

5.3.6 Atividade antioxidante do extrato de polpa de pitaya obtido por extração assistida por ultrassom e do EPPM

O extrato de polpa de pitaya obtido por ultrassom apresentou 1531,56 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$. Valor superior aos encontrados em outros estudos realizados com extrato de polpa de pitaya. Fu et al. (2011) (124 $\mu\text{mol Fe}^{+2}/100 \text{ g}$) em extração convencional, Ramli et al. (2014) (620,00

$\mu\text{mol Fe}^{+2}/\text{g}$ e $609,17 \mu\text{mol Fe}^{+2}/\text{g}$) com EAU e extração convencional, respectivamente e por Bellucci et al. (2021) ($825,40 \mu\text{mol Fe}^{+2}/100 \text{ g}$), utilizando campo elétrico pulsado.

Tabela 13. Atividade antioxidante do extrato de polpa de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) obtido por extração assistida por ultrassom e microencapsulado

	FRAP ($\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$)
Extrato obtido por extração assistida por ultrassom	$1.531,56^a \pm 0,89$
Extrato obtido por extração assistida por ultrassom microencapsulado	$473,11^b \pm 1,22$

Fonte: A autora (2022)

As diferenças observadas podem estar relacionadas às variedades de pitayas utilizadas, país de origem, plantio, colheita, condições edafoclimáticas e métodos de extração (BELLUCCI et al., 2021). Enquanto que, o EPPM também apresentou valor de FRAP superior ($473,11 \mu\text{mol Fe}^{+2}/\text{g}$) ao de outros estudos realizados com extratos microencapsulados de casca de abacaxi (LOURENÇO; MOLDÃO; ALVES, 2020), casca de uva (CARPES et al., 2020), e de polpa e resíduo de acerola (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

5.3.7 Estudo da estabilidade do EPPM

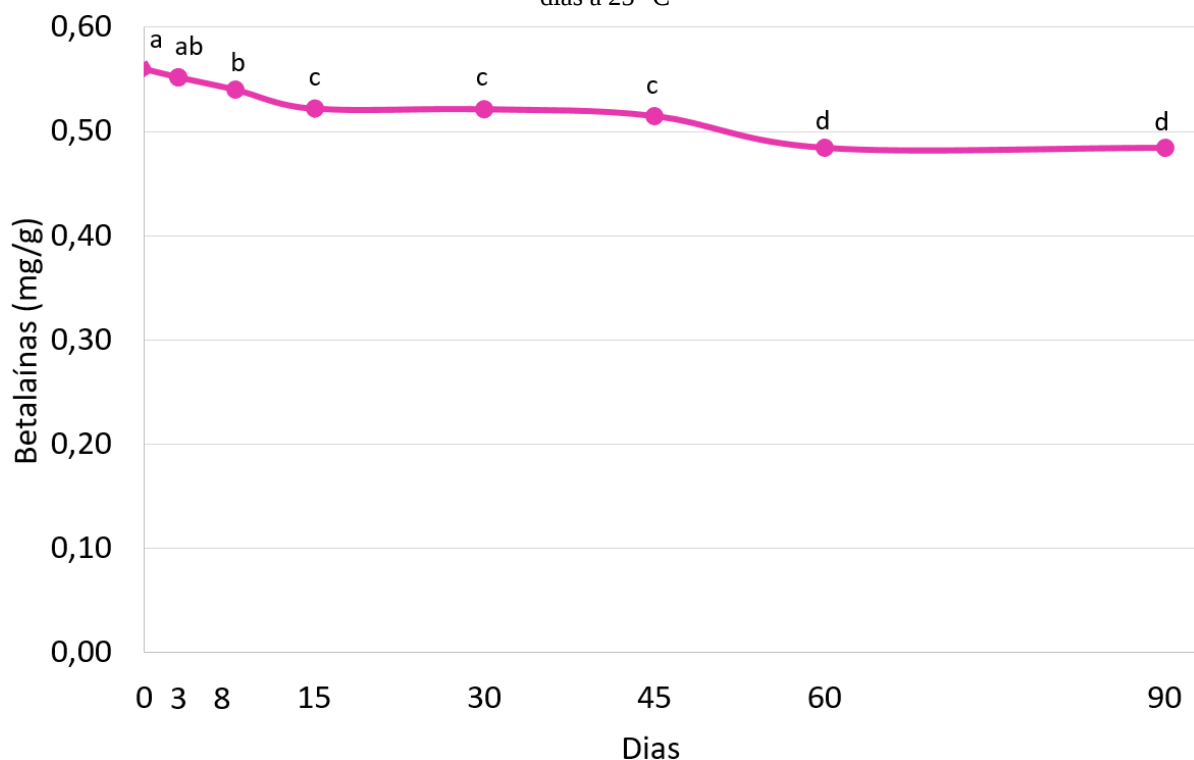
O EPPM foi submetido ao estudo da estabilidade com o propósito de avaliar o comportamento dos teores de betalaínas e compostos fenólicos, cor, atividade de água, umidade e pH ao longo de 90 dias de armazenamento a 25°C . Houve decréscimo significativo ($p < 0,05$) nos teores de betalaínas (Figura 5) e compostos fenólicos (Figura 6) ao decorrer dos 90 dias de armazenamento. O teor total de betalaínas no EPPM permaneceu estável ($p > 0,05$) entre 15 e 45 dias de armazenamento. Ao final de 90 dias de armazenamento, o EPPM apresentou perda de 14,28% no teor total de betalaínas. Otálora et al. (2018) em estudo realizado com extrato microencapsulado por *spray drying* de *Opuntia megacantha* observaram o decréscimo de betaxantinas ao longo de 30 dias de armazenamento em temperatura de 18°C e ambiente controlado de umidade relativa (57% e 90%). O estudo utilizou maltodextrina 20 DE combinada a mucilagem de cacto como material de parede e temperatura de entrada de 170°C . Foi observado que durante o armazenamento, as betaxantinas ficaram mais suscetíveis a degradação em ambiente com maior umidade relativa.

Soto-Castro et al. (2019) em estudo realizado com extrato microencapsulado por *spray drying* de *Stenocereus queretaroensis* e *Escontria chiotilla*, observaram que o conteúdo total de betalaínas, betacianinas e betaxantinas apresentou perdas significativas ao longo de 90 dias

de armazenamento sob temperatura de 23 °C em sacos de polietileno à vácuo. O estudo utilizou mucilagem de cacto como agente encapsulante e temperatura de entrada de 140 °C.

No presente estudo, utilizou-se temperatura de 25 °C $\pm$ 1, além de embalagens laminadas com barreira de luz. Desta maneira, a diminuição no teor de betalaínas durante o armazenamento pode ter sido em decorrência da utilização de apenas um agente encapsulante, assim como devido ao aumento da umidade do microencapsulado, uma vez que a degradação da parede da cápsula facilita a permeabilidade do oxigênio, permitindo a diminuição da densidade da parede e a abertura da rede de poros, acelerando o processo oxidativo (CAI; CORKE, 2000; OTÁLORA et al., 2018). Este dano ocasiona a degradação e o branqueamento das betalaínas (OTÁLORA et al., 2015).

Figura 5. Teor total de betalaínas (mg/g) no extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C



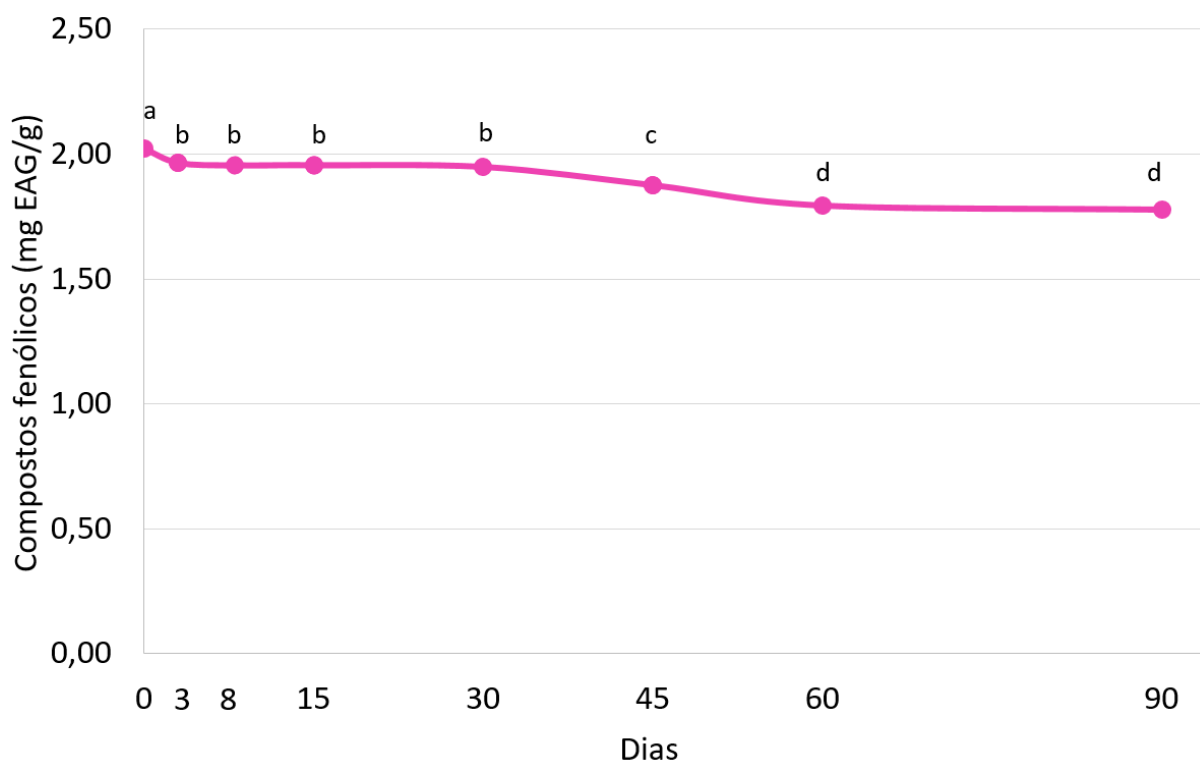
Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias

Fonte: A autora (2022)

Em relação ao teor de compostos fenólicos (Figura 6), o EPPM apresentou estabilidade ($p > 0,05$) do terceiro ao trigésimo dia de armazenamento e entre os 60 e 90 dias de armazenamento ($p > 0,05$). Ao final de 90 dias de armazenamento, houve uma perda de 11,88% no teor de compostos fenólicos. Lourenço et al. (2020) estudando extrato de abacaxi microencapsulado observaram decréscimo de compostos fenólicos após 6 meses de armazenamento a 6 °C. O estudo utilizou temperaturas de entrada de 150 e 190 °C e

maltodextrina 4-7 DE como agente encapsulante. Moser et al. (2017) em estudo realizado com suco de uva microencapsulado com blend de proteína de soja e maltodextrina por *spray drying* observaram decréscimo significativo nos teores de compostos fenólicos ao final de 150 dias de armazenamento sob temperatura de 25 °C. Paini et al. (2015) em estudo realizado com extrato de bagaço de azeitona microencapsulado observaram perda de 21% no teor de compostos fenólicos ao final de 70 dias de armazenamento a temperatura de 25 °C. No presente estudo, a redução significativa no teor de compostos fenólicos do EPPM pode ter ocorrido devido ao aumento da umidade do microencapsulado. A umidade atua como um plastificante em materiais de parede e resulta na elevação da taxa de mudanças físico-químicas em produtos secos, como reações de oxidação (CAI; CORKE, 2000; RAMÍREZ et al., 2015). É importante observar que o decréscimo de betalaínas e compostos fenólicos podem estar associados a fatores como a disponibilidade de luz, oxigênio e água, a estrutura química, ao material de parede e também às condições de encapsulação utilizadas (RAMÍREZ et al., 2015). Apesar de ter havido diminuição significativa no teor de betalaínas e compostos fenólicos durante o armazenamento, o EPPM ainda possui quantidade considerável destes compostos, que indica um grande potencial na sua utilização como ingrediente funcional e/ou pigmento natural na indústria de alimentos.

Figura 6. Teor de compostos fenólicos (mg EAG/g) do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C

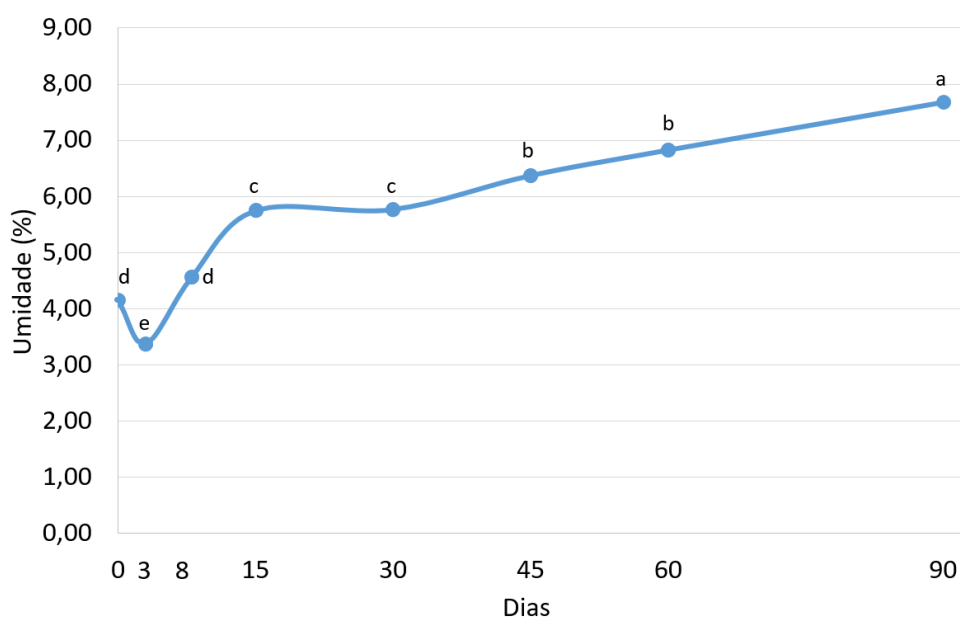


Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias

Fonte: A autora (2022)

A umidade (Figura 7) e a atividade de água (Figura 8) do EPPM apresentaram aumento significativo ($p < 0,05$) entre o tempo inicial e ao decorrer de 90 dias de armazenamento. O EPPM permaneceu estável ($p > 0,05$) em relação à umidade entre 15 e 30 dias de armazenamento e também entre 45 e 60 dias de armazenamento. Ao atingir 90 dias de armazenamento, o EPPM apresentou o maior teor de umidade. Soto-Castro et al. (2019) em estudo realizado com extrato microencapsulado de *Stenocereus queretaroensis* e *Escontria chiotilla*, observaram o aumento no teor de umidade ao longo de 90 dias de armazenamento a 23 °C. Todos os valores do presente estudo apresentaram umidade abaixo do estabelecido pelas normativas brasileiras (BRASIL, 1996; BRASIL, 2005; BRASIL, 2010). A atividade de água do EPPM apresentou estabilidade ($p > 0,05$) entre 30 e 45 dias de armazenamento e entre 60 e 90 dias. A absorção de água e o consequente aumento da atividade de água do microencapsulado podem ter aumentado a plasticidade de barreira dos materiais de parede e terem possibilitado o decréscimo do teor de compostos fenólicos (RAMÍREZ et al., 2015). Entretanto a atividade de água do EPPM apresentou, durante o período de armazenamento, abaixo da faixa considerada limitante para o desenvolvimento de microrganismos (0,60) (LEONG et al., 2011), sugerindo estabilidade microbiológica. Microencapsulados com baixos teores de umidade, possuem uma maior estabilidade. Em contrapartida, produtos microencapsulados com elevadores teores de açúcares em sua composição apresentam maior higroscopicidade, o que pode influenciar no aumento do gradiente de concentração de água no produto e do ar circundante (OTÁLORA et al., 2015).

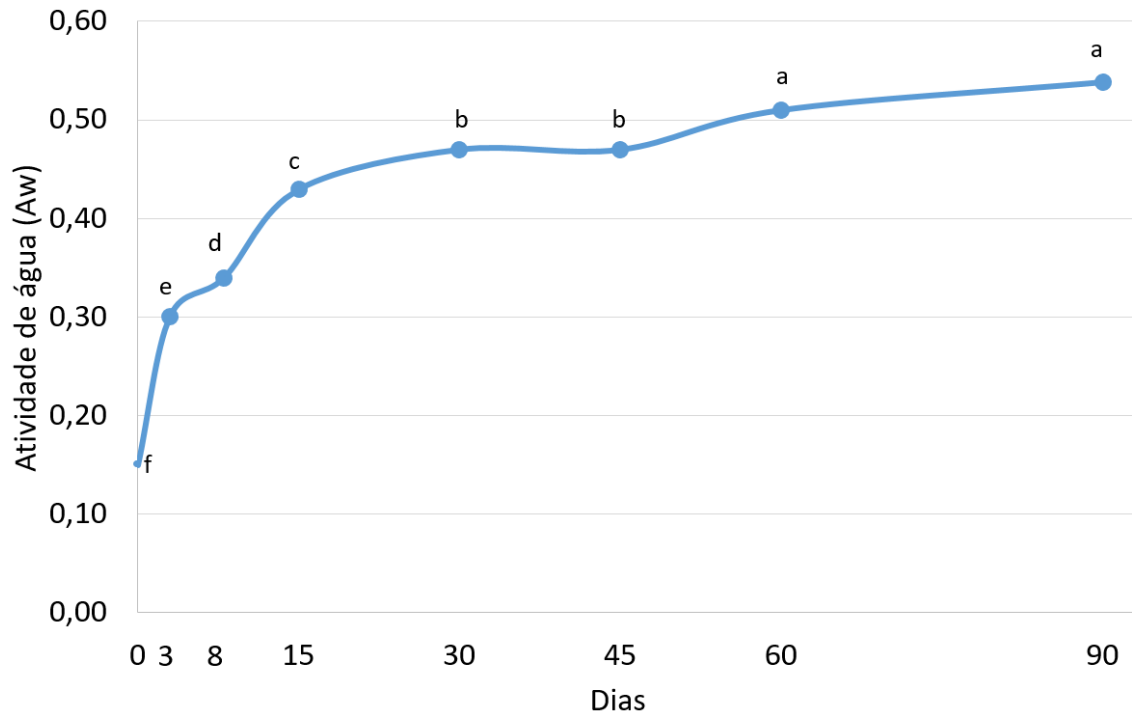
Figura 7. Umidade (%) do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C



Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias

Fonte: A autora (2022)

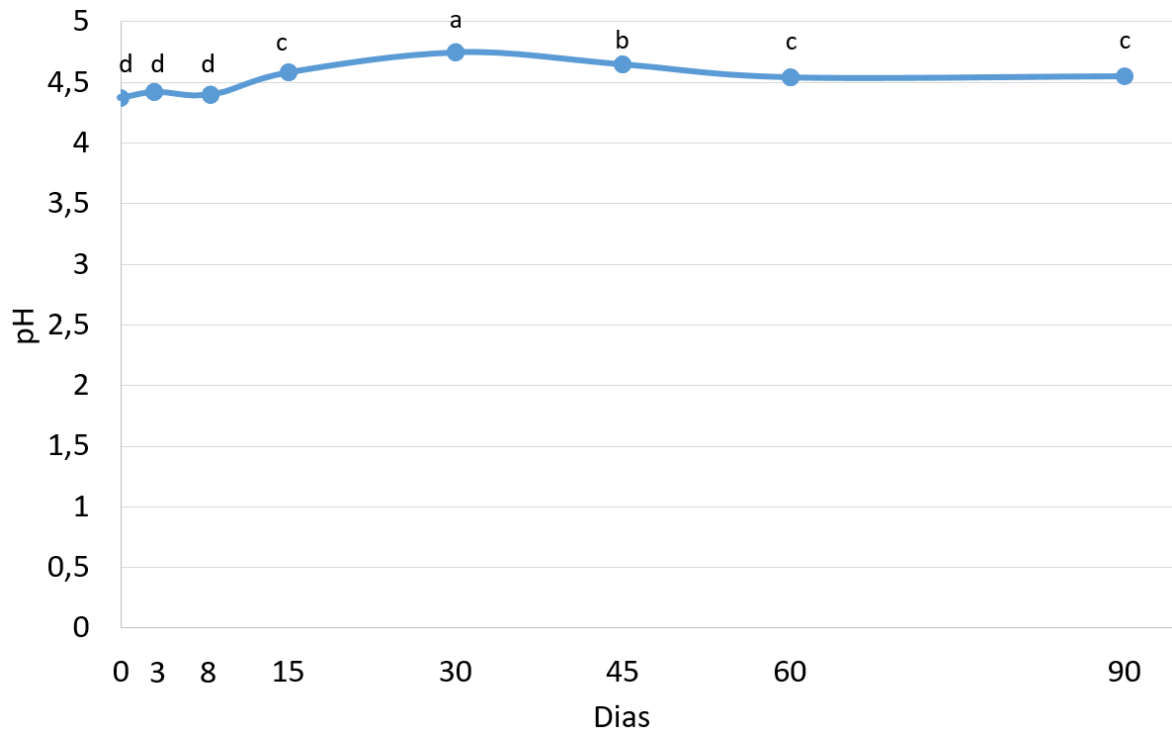
Figura 8. Atividade de água do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C



Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias

Fonte: A autora (2022)

Figura 9. pH do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25 °C



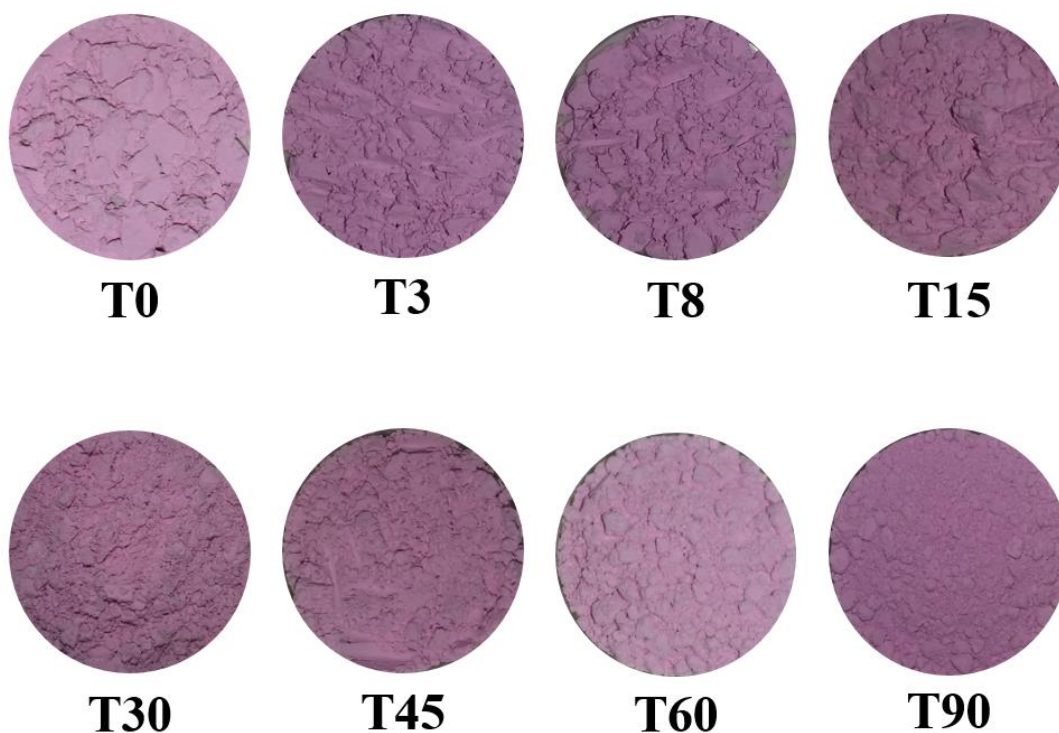
Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias

Fonte: A autora (2022)

O pH do EPPM (Figura 9) apresentou estabilidade entre o tempo inicial até o oitavo dia de armazenamento e também entre os tempos 60 e 90 dias de armazenamento, com uma faixa de variação de (4,37 a 4,75). A maioria das bactérias se desenvolvem em ambientes com pH próximo a neutralidade (6,6 a 7,5), podendo algumas se desenvolverem em ambientes abaixo de 4,5. No entanto essa faixa torna-se desfavorável para os microrganismos patogênicos e deteriorantes (VASCONCELOS; FILHO, 2010).

Houve variação na coordenada L* (luminosidade) durante o período de armazenamento. A coordenada apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) a partir do décimo quinto dia, seguindo até o sexagésimo dia de armazenamento. Para a coordenada a*, houve uma diminuição significativa ($p < 0,05$) ao longo dos 90 dias de armazenamento.

Figura 10. Extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25° C



T=Tempo; 0, 3, 8, 15, 30, 45, 60, 90 dias.

Fonte: A autora (2022)

O aumento da luminosidade e diminuição da coordenada a* podem ser atribuídos a perda do teor de betalaínas, uma vez que este valor representa a diminuição da tonalidade vermelha do EPPM durante o armazenamento (Tabela 14 e Figura 10). A cromaticidade (C*) do EPPM diminuiu significativamente a partir do décimo quinto dia de armazenamento, que seguiu até o sexagésimo dia de armazenamento. O EPPM apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) no ângulo Hue ao atingir 30 dias de armazenamento, seguida por uma redução

significativa ($p < 0,05$) nos tempos subsequentes de armazenamento. Ao longo de 90 dias de armazenamento o EPPM apresentou tonalidade clara e levemente rosada. No entanto, de acordo com a estabilidade, os EPPM dos tempos 8, 30, 60 e 90 apresentaram diferença de cor perceptível ao olho humano quando comparadas ao tempo 0 ($\Delta E > 2,15$).

Tabela 14. Cor do extrato de polpa de pitaya microencapsulado armazenado por 90 dias a 25° C

	L*	a*	b*	C*	H°	ΔE^*
Dia 0	77,17 ^{ac} ± 0,09	29,20 ^c ± 0,22	-9,36 ^f ± 0,02	30,67 ^c ± 0,21	17,77 ^b ± 0,12	-
Dia 3	78,25 ^a ± 0,06	27,81 ^d ± 0,23	-8,86 ^d ± 0,03	29,19 ^e ± 0,22	17,67 ^b ± 0,10	1,83 ± 0,44
Dia 8	75,18 ^d ± 0,19	30,12 ^b ± 0,14	-9,24 ^e ± 0,01	31,51 ^b ± 0,14	17,05 ^c ± 0,06	2,20 ± 0,15
Dia 15	77,68 ^a ± 0,02	29,11 ^c ± 0,08	-8,90 ^d ± 0,02	30,44 ^c ± 0,08	17,00 ^c ± 0,01	0,72 ± 0,11
Dia 30	78,50 ^a ± 0,06	27,03 ^e ± 0,09	-9,31 ^{ef} ± 0,04	28,59 ^f ± 0,10	19,01 ^a ± 0,04	2,54 ± 0,32
Dia 45	77,29 ^a ± 0,32	28,8 ^c ± 0,31	-7,95 ^b ± 0,04	29,87 ^d ± 0,31	15,43 ^d ± 0,08	1,50 ± 0,14
Dia 60	78,14 ^{ab} ± 0,02	28,14 ^d ± 0,1	-7,69 ^a ± 0,03	29,17 ^e ± 0,09	15,29 ^{de} ± 0,09	2,22 ± 0,18
Dia 90	75,42 ^{bcd} ± 0,18	31,12 ^a ± 0,21	-8,39 ^c ± 0,00	32,23 ^a ± 0,21	15,09 ^e ± 0,09	2,78 ± 0,45

Letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias

Fonte: A autora (2022)

6. CONCLUSÃO

A polpa de pitaya vermelha apresentou maior quantidade de betalaínas e compostos fenólicos. O extrato destes compostos foi obtido a partir de planejamento experimental da extração assistida por ultrassom com otimização do processo nas seguintes condições: concentração de etanol (30%), taxa de solvente/amostra (40 mL/g) e tempo de imersão no ultrassom (20 minutos). O extrato de polpa de pitaya obtido por ultrassom apresentou teores significativamente mais elevados para betalaínas e compostos fenólicos frente ao obtido por extração convencional, indicando que a técnica foi bem-sucedida na extração destes compostos. A microencapsulação por *spray dryer* possibilitou bons índices de eficiência de encapsulamento para betalaínas e compostos fenólicos, assim como atividade antioxidante e características físicas e físico-químicas favoráveis. Ao final de 90 dias de estabilidade, o extrato de polpa de pitaya microencapsulado apresentou decréscimo nos teores de betalaínas e compostos

fenólicos, no entanto ainda possui quantidade considerável destes compostos, o que indica grande potencial na sua utilização como ingrediente funcional e/ou pigmento natural nas indústrias de alimentos e farmacêuticas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M.; GERALDI, M. V.; CAZARIN, C. B. B.; MARÓSTICA-JUNIOR, M. R. Functional Food Consumption and Its Physiological Effects. *In*: CAMPOS, M. R. S. **Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications**, Cambridge: Woodhead Publishing, p. 205-225, 2019.
- AL-DHABI, N. A.; PONMURUGAN, K.; MARAN, P. Development and Validation of Ultrasound-Assisted Solid-Liquid Extraction of Phenolic Compounds from Waste Spent Coffee Grounds. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 206-213, 2017.
- ANTIGO, J. L. D.; SILVA, J. M.; BERGAMASCO, R. C.; MADRONA, G. S. Microencapsulation of beet dye (*Beta vulgaris* L.) using maltodextrin and xanthan gum as encapsulant agents and application in yogurt. **Research, Society and Development**, v. 9, p. 1-25, 2020.
- AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 20 ed. Washington, 2016.
- ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M. Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: From microcapsules to nanocapsules. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 10, p. 103-131, 2019.
- BAKAR, J.; EE, S. C.; MUHAMMAD, K.; HASHIM, D. M.; ADZAHAN, N. Spray-Drying Optimization for Red Pitaya Peel (*Hylocereus polyrhizus*). **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 1332-1342, 2012.
- BARBA, F. J.; PUTNIK, P.; KOVACEVIC, D. B.; POOJARY, M. M.; ROOHINEJAD, S.; LORENZO, J. M.; KOUBAA, M. Impact of conventional and non-conventional processing on prickly pear (*Opuntia* spp.) and their derived products: From preservation of beverages to valorization of by-products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 260-270, 2017.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. *In*: ONWULATA, C. **Encapsulated and powdered foods**. United Kingdom: Taylor & Francis, p. 39-71, 2005.
- BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BELLUCCI, E. R. B.; MUNEKATA, P. E. S.; PATEIRO, M.; LORENZO, J. M.; BARRETTO, A. C. S. Red pitaya extract as natural antioxidant in pork patties with total replacement of animal fat. **Meat Science**, v. 171, p. 108284, 2021.

BENZIE, I. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76, 1996.

BERK, Z. Food Process Engineering and Technology. 3 edição. Cambridge: Academic Press, 2018.

BHAGYA RAJ, G. V. S.; DASH, K. K. Ultrasound-assisted Extraction of Phytochemicals from Dragon Fruit Peel: Optimization, Kinetics and Thermodynamic Studies. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 68, 105180, 2020.

BHAT, R.; PALIYATH, G. Fruits of Tropical Climates: Dietary Importance and Health Benefits. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Eds.) **Encyclopedia of Food and Health**, Cambridge: Academic Press, p. 144-149, 2016.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30. 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 1.812 de 08 de fevereiro de 1996. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de leite em pó**. Disponível em: <http://www.agais.com/normas/leite/leite_po.htm>. Acesso em 17 de janeiro de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 16, de 24 de maio de 2010. **Regulamento técnico para o café torrado em grão e para o café torrado e moído**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=794116535>>. Acesso em 17 de janeiro de 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, de 2 de junho de 2005. **Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo**. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>. Acesso em 17 de janeiro de 2022.

CALDAS, T. W.; MAZZA, K. E. L.; TELES, A. S. C.; MATTOS, G. N.; BRÍGIDA, A. I. S.; CONTE-JUNIOR, C. A.; BORGUINI, R. G.; GODOY, R. L. O.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and non-conventional extraction methods. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 86-91, 2018.

CAI, Y.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, p. 1248-1252, 2000.

CAN KARACA, A.; GUZEL, O.; AK, M. M. Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, p. 449-455, 2016.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science e Emerging Technologies**, v. 6, p. 420-428, 2005.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. L.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R. FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine* 'Carabao' var.) power. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135-148, 2012.

CARMONA, J. C.; ROBERT, P.; VERGARA, C.; SÁENZ, C. Microparticles of yellow-orange cactus pear pulp (*Opuntia ficus-indica*) with clacode mucilage and maltodextrin as a food coloring in yogurt. **LWT – Food Science and Technology**, v. 138, p. 110672, 2021.

CARPES, S. T.; PEREIRA, D.; MOURA, C.; REIS, A. S.; SILVA, L. D.; OLDONI, T. L. C.; ALMEIDA, J. F.; PLATA-OVIEDO, M. V. S. Lyophilized and microencapsulated extracts of grape pomace from winemaking industry to prevent lipid oxidation in chicken pâté. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1-13, 2020.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; MEULLEMIESTRE, A.; TURK, M.; PERINO, S.; FABIANO-TIXIER, A. S.; ABERT-VIAN, M. Review of Green Food Processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 41, p. 357-377, 2017.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; SICAIRE, A. G.; MEULLEMIESTRE, A.; FABIANO-TIXIER, A. S.; ABERT-VIAN, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 34, p. 540-560, 2017.

CHEN, G.; CHEN, S.; ZHAO, Y.; LUO, C.; LIB, J.; GAO, Y. Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after in vitro digestion. **Industrial Crops and Products**, v.57, p. 150-157, 2014.

COELHO, M. S.; FERNANDES, S. S.; SALAS-MELLADO, M. M. Association Between Diet, Health, and the Presence of Bioactive Compounds in Foods. *In*: CAMPOS, M. R. S. (Ed.) **Bioactive Compounds**, Sawston: Woodhead Publishing, 2019, p.159-183.

CONG-CONG, X.; WANG, B.; YI-QIONG, P.; JIAN-SHENG, T.; ZHANG, T. Advances in extraction and analysis of phenolic compounds from plant materials. **Chinese Journal of Natural Medicines**, v. 15, p. 721-731, 2017.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical

properties of cagaita (*Eugenia dysenterica* D.C.) Fruit extracts. **Food and bioproducts processing**, v. 97, p. 20-29, 2016.

DEMBITSKY, V. M.; POOVARODOM, S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; VEARASILP, S.; TRAKHTENBERG, S.; GORINSTEIN, S. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. **Food Research International**, v. 44, p. 1671-1701, 2011.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, p. 214-219, 1980.

ENCINA, C.; VERGARA, C.; GIMÉNEZ, B.; OYARZÚN-AMPUERO, F.; ROBERT, P. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. **Trends in Food Science and Technology**, v. 56, p. 46–60, 2016.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Comparison of morphological and chemical fruit traits from different pitaya genotypes (*Hylocereus* sp.) grown in Costa Rica. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 81, p. 7-14, 2007.

EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; JENA, B. S.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of Garcinia fruit extract by spray drying and its effect on bread quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, p. 1116–1123, 2014.

INGLESE, P.; MONDRAGON, C.; NEFZAOU, A.; SÁENZ, C. **Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear**. 1.ed. Roma: FAO, 2017.

ISLAM, M. Z.; KITAMURA, Y.; KOKAWA, M.; MONALISA, K. TSAIA, F.; MIYAMURA, S. Effects of micro wet milling and vacuum spray drying on the physicochemical and antioxidant properties of orange (*Citrus unshiu*) juice with pulp powder. **Food and bioproducts processing**, v. 101, p. 132-144, 2017.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, ZAHRA; ASHTARI, A. K; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feel composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 667-675, 2012.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Spray drying of blackberry pulp using maltodextrin as carrier agente. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 15, p. 157-165, 2012.

FRANCO, D.; ANTEQUERA, T.; PINHO, S. C.; JIMÉNEZ, E.; PÉREZ-PALACIOS, T.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; LORENZO, J. M. The use of microencapsulation by spray-drying and its application in meat products. In: LORENZO, J. M.; CARBALLO, F. J. **Strategies for Obtaining Healthier Foods**, New York: Nova Science Publishers, p. 333-362, 2017.

FU, L.; XU, B. T.; XU, X. R.; GAN, R. Y.; ZHANG, Y.; XIA, E. Q.; LI, H. B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chemistry**, v. 129 (2), p. 345-350, 2011.

GANDÍA-HERRERO, F.; ESCRIBANO, J.; GARCÍA-CARMONA, F. Biological activities of plant pigments betalains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, p. 937-945, 2016.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. The effect of pH treatment and refrigerated storage on natural colourant preparations (betacyanins) from red pitahaya and their potential application in yoghurt. **Food Science and Technology**, v. 80, p. 437-445, 2017.

GRIFFITHS, H. R. Antioxidants: Characterization and Analysis. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRÁ, F. (Eds.) **Encyclopedia of Food and Health**, Cambridge: Academic Press, p. 221-226, 2016.

HOLANDA, M. O.; LIRA, S. M.; SILVA, J. Y. G.; MARQUES, C. G.; COELHO, L. C.; LIMA, C. L. S.; COSTA, J. T. G.; SILVA, G. S.; SANTOS, G. B. M.; ZOCOLO, G. J.; DIONÍSIO, A. P.; GUEDES, M. I. F. Intake of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose) beneficially affects the cholesterolemic profile of dislipidemic C57BL/6 mice. **Food Bioscience**, v. 42, p. 101181, 2021.

IBRAHIM, S. R. M.; MOHAMED, G. A.; KHEDR, A. I. M.; ZAYED, M. F.; EL-KHOLY, A. A. E. S. Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance – A review. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, p. 1-29, 2018.

JAFARI, S. M.; GHALENOEI, M. G.; DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 311, p. 59-65, 2017.

JAYAS, D. S. Food Dehydration. In: SMITHERS, G.; KNOERZER, K. (Eds.) **Reference Module in Food Science**, Amsterdam: Elsevier, p. 1-10, 2016.

JIANG, H.; ZHANG, W.; LI, X.; SHU, C.; JIANG, W.; CAO, J. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 199-217, 2021.

JIMÉNEZ-AGUILAR, D. M.; ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; MARTÍN-BELLOSO, O.; GUTIÉRREZ-URIBE, J.; VALDEZ-FRAGOSO, A.; GARCÍA-GARCÍA, R.; TORRES, J. A.; WELTI-CHANES, J. Effect of High Hydrostatic Pressure on the Content of Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of Prickly Pears (*Opuntia ficus-indica*) Beverages. **Food Engineering Reviews**, v. 7, p. 198–208, 2015.

JOSHI, M.; PRABHAKAR, B. Phytoconstituents and pharmaco-therapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, p. e13260, 2020.

KOUBAA, M.; BARBA, F. J.; GRIMI, N.; MHEMDI, H.; KOUBAA, W.; BOUSSETTA, N.; VOROBIEV, E. Recovery of colorants from red prickly pear peels and pulps enhanced by

pulsed electric field and ultrasound. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 37, p. 336-334, 2016.

KUMAR, K.; SRIVASTAV, S.; SHARANAGAT, V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 70, 105325, 2021.

KUMAR N.; GUPTA, S.; YADAV, T. C.; PRUTHI, V.; VARADWAJ, P. K.; GOEL, N. Extrapolation of phenolic compounds as multi-target agents against cancer and inflammation. **Journal of Biomolecular Structure and Dynamics**, v. 37, p. 2355-2369, 2019.

KUMAR, S. S.; MANOJ, P.; NIMISHA, G.; GIRIDHAR, P. Phytoconstituents and stability of betalains in fruit extracts of Malabar spinach (*Basella rubra* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, p. 4014-4022, 2016.

LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International**, v. 107, p. 227-247, 2018.

LE BELLEC, F.; VAILLANT, F. Pitahaya (pitaya) (*Hylocereus* spp.). In: YAHIA, E. M. **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Mangosteen to White Sapote**. Sawston: Woodhead Publishing, p. 247-273, 2011.

LEONG, H. Y.; SHOW, P. L.; LIM, M. H.; OOI, C. W.; LING, T. C. Natural red pigments from plants and their health benefits: A review. **Food Reviews International**, v. 34, p. 463-482, 2018.

LEONG, S. L.; PETTERSSON, O. V.; RICE, T.; HOCKING, A. D.; SCHNÜRER, J. The extreme xerophilic mould *xeromyces bisporus* – growth and competition at various water activities. **International Journal of Food Microbiology**, v. 145, p. 57–63, 2011.

LEE, Y. K.; CHANG, Y. H. Microencapsulation of a maca leaf polyphenol extract in mixture of maltodextrin and neutral polysaccharides extracted from maca roots. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 150, p. 546-558, 2020.

LI, W.; GAMLATH, C. J.; PATHAK, R.; MARTIN, G. J. O.; ASHOKKUMAR, M. Ultrasound – The Physical and Chemical Effects Integral to Food Processing. In: SMITHERS, G.; KNOERZER, K. (Eds.) **Reference Module in Food Science**. Amsterdam: Elsevier, p. 1-30, 2021.

LIAO, H.; ZHU, W.; ZHONG, K.; LIU, Y. Evaluation of colour stability of clear red pitaya juice treated by thermosonication. **LWT - Food Science and Technology**, v. 121, p. 1089-1097, 2020.

LOURENÇO, S. C.; MOLDÃO-MARTINS, M.; ALVES, V. D. Microencapsulation of Pineapple Peel Extract by Spray Drying Using Maltodextrin, Inulin, and Arabic Gum as Wall Matrices. **Foods**, v. 9, 1-17, 2020.

- MARAN, J. P.; MEKALA, V.; MANIKANDAN, S. Modeling and optimization of ultrasound-assisted extraction of polysaccharide from *Cucurbita moschata*, **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 2018-2026, 2013.
- MARZUKI, N. H. C.; HAMID, M. A.; WAHAB, R. A. Assessment of fatty acid composition and response surface optimization of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from *Pouteria campechiana* pulp. **Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 14 (2), p. 269-277, 2018.
- MELLO, F. R.; BERNARDO, C.; DIAS, C. O.; GONZAGA, L.; AMANTE, E. R.; FETT, R.; CANDIDO, L. M. B. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. **Ciência Rural**, v. 45, 323-328, 2015.
- MERCADO-SILVA, E. M. Pitaya - *Hylocereus undatus* (Haw). In: RODRIGUES, S.; SILVA, E. O.; BRITO, E. S. **Exotic Fruits**, Cambridge: Academic Press, p. 339-349, 2018.
- MEREGALLI, M. M.; PUTON, B. M. S.; CAMERA, F. D.; AMARAL, A. U.; ZENI, J.; CANSIAN, R. L.; MIGNONI, M. L.; BACKES, G. T. Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red araçá peel (*Psidium cattleianum* Sabine). **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, p. 5800-5809, 2020.
- MORETTI, M.; RODRIGUES, A. L. S. Ascorbic acid as an antioxidant and applications to the central nervous system. In: PREEDY, V. R. **Pathology: Oxidative Stress and Dietary Antioxidants**, Cambridge: Academic Press, p. 159-167, 2020.
- MOSER, P.; TELIS, V. R. N.; ANDRADE NEVES, N.; GARCÍA-ROMERO, E.; GÓMEZ-ALONSO, S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. **Food Chemistry**, v. 214, p. 308-318, 2017.
- NGAMWONGLUMLERT, L.; DEVAHASTIN, S. Carotenoids. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. (Eds.) **Encyclopedia of Food Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, p. 40-52, 2019.
- NUNES, G. L.; BOAVENTURA, B. C. B.; PINTO, S. S.; VERRUCK, S.; MURAKAMI, F. S.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C. Microencapsulation of freeze concentrated *Ilex paraguariensis* extract by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 151, p. 60-68, 2015.
- OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; NAZARENO, M. A.; OSORIO, C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agentes. **Food Chemistry**, v. 187, p. 174-181, 2015.
- OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; OSORIO, C.; NAZARENO, M. A. Encapsulation of cactus (*Opuntia megacantha*) betaxanthins by ionic gelation and spray drying: A comparative study. **Food Research International**, v.111, p. 423–430, 2018.

- PAINI, M.; ALIAKBARIAN, B.; CASAZZA, A. A.; LAGAZZO, A.; BOTTER, R.; PEREGO, P. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 177–186, 2015.
- PANJA, P. Green extraction methods of food polyphenols from vegetable materials. **Current Opinion in Food Science**, v. 23, p. 173-182, 2018.
- PANG, S. F.; YUSOFF, M. M.; GIMBUN, J. Assessment of phenolic compounds stability and retention during spray drying of *Orthosiphon stamineus* extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 37, p. 159-165, 2014.
- PINELA, J.; PRIETO, M. A.; PEREIRA, E.; JABEUR, I.; BARREIRO, M. F.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Optimization of heat- and ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from Hibiscus sabdariffa calyces for natural food colorants. **Food Chemistry**, v. 275, p. 309-321, 2019.
- PRIATNI, S.; PRADITA, A. Stability Study of Betacyanin Extract from Red Dragon Fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) Peels, **Procedia Chemistry**, v. 16, p. 438-444, 2015.
- QIN, Y.; XU, F.; YUAN, L.; HU, H.; YAO, X.; LIU, J. Comparison of the physical and functional properties of starch/polyvinyl alcohol films containing anthocyanins and/or betacyanins. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 163, p. 898-909, 2020.
- RAHMANIAN, N.; JAFARI, S. M.; WANI, T. A. Bioactive profile, dehydration, extraction and application of the bioactive components of olive leaves. **Trends in Food Science & Technology**, v. 727, p. 150-172, 2015.
- RAHMAN, M. S. Water Activity and Glass Transition of Foods. In: SMITHERS, G.; KNOERZER, K. (Eds.) **Reference Module in Food Science**. Amsterdam: Elsevier, p. 1-10, 2019.
- RAMLI, N. S.; BROWN, L.; ISMAIL, P.; RAHMAT, A. Effects of red pitaya juice supplementation on cardiovascular and hepatic changes in high-carbohydrate, high-fat diet-induced metabolic syndrome rats. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 14, p. 1-10, 2014.
- RAMLI, N. S.; ISMAIL, P.; RAHMAT, A. Influence of conventional and ultrasonicassisted extraction on phenolic contents, betacyanin contents, and antioxidant capacity of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **The Scientific World Journal**, 964731, 2014.
- RAMÍREZ, M. J.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. **Powder Technology**, v. 277, p. 89-96, 2015.
- REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* D. C.) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.

- ROCCHETTI, G.; BLASI, F.; MONTESANO, D.; GHISONI, S.; MARCOTULLIO, M. C.; SABATINI, S.; COSSIGNANI, L.; LUCINI, L. Impact of conventional/non-conventional extraction methods on the untargeted phenolic profile of *Moringa oleifera* leaves. **Food Research International**, v. 115, p. 319-327, 2019.
- ROCHA, J. C. G.; BARROS, F. A. R.; PERRONE, I. T.; VIANA, K. W. C.; TAVARES, G. M.; STEPHANI, R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, v. 343, p. 317-325, 2019.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Betalains. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. **Encyclopedia of Food Chemistry**, Amsterdam: Elsevier, p. 35-39, 2019.
- RODRÍGUEZ-AMAYA, D. B. Bioactive Carotenes and Xanthophylls in Plant Foods. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. (Eds.) **Encyclopedia of Food Chemistry**. Amsterdam: Elsevier, p. 260-266, 2019.
- RORIZ, C. L.; BARROS, L.; PRIETO, M. A.; BARREIRO, M. F.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Modern extraction techniques optimized to extract betacyanins from *Gomphrena globosa* L. **Industrial Crops and Products**, v. 105, p. 29-40, 2017.
- SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v.11, p. 616–622, 2009.
- SALAR, R. K.; PUREWAL, S. S.; BHATTI, M. S. Optimization of extraction conditions and enhancement of phenolic content and antioxidant activity of pearl millet fermented with *Aspergillus awamori* MTCC-548, **Resource-Efficient Technologies**, v. 2 (3), 148-157, 2016.
- SÁNCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J. A.; SAURA-CALIXTO, F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 76, p.270-276, 1998.
- SHAARUDDIN, S.; MOHD GHAZALI, H.; 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.
- SLIMEN, I. B.; NAJAR, T.; ABDERRABBA, M. Chemical and Antioxidant Properties of Betalains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, p. 675-689, 2017.
- SONG, H.; CHU, Q.; XU, D.; XU, Y.; ZHENG, X. Purified betacyanins from *Hylocereus undatus* peel ameliorate obesity and insulin resistance in high-fat-diet-fed mice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, p. 236-244, 2016.
- SOTO-CASTRO, D.; CHAVEZ, G. M.; LEÓN-MARTÍNEZ, F.; SANTIAGO-GARCÍA, A.; ARAGÓN-LUCERO, I.; ANTONIO-ANTONIO, F. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, v. 272, p. 715-722, 2019.

STINTZING, F. C.; HERBACH, K. M.; MOSSHAMMER, M. R.; CARLE, R.; YI, W.; SELLAPPAN, S.; AKOH, C. C.; BUNCH, R.; FELKER, P. Color, Betalain Pattern, and Antioxidant Properties of Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Clones, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53 (2), 442-451, 2005.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices, **European Food Research and Technology**, v. 216, p. 303-311, 2003.

SCHUCK, P. Dehydrated Dairy Products | Milk Powder: Physical and Functional Properties of Milk Powders. In: FUQUAY, J. W. (Ed.) **Encyclopedia of Dairy Sciences**. Cambridge: Academic Press, p. 117-124, 2011.

Tabela brasileira de composição de alimentos / NEPA – UNICAMP.- 4. ed. rev. e ampl.. -- Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.

TOLUN, A.; ALTINTAS, Z.; ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. **Journal of Biotechnology**, v. 239, p. 23-33, 2016.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91-102, 2017.

UTPOTT, M.; ARAUJO, R. R.; VARGAS, C. G.; PAIVA, A. R. N.; TISCHER, B.; RIOS, A. O.; FLÔRES, S. H. Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. **Journal of Food Processing and Preservation**, E14420, 2020.

VARGAS-CAMPOS, L.; VALLE-GUADARRAMA, S.; MARTINEZ-BUSTOS, F.; SALINAS-MORENO, Y.; LOBATO-CALLEROS, C.; CALVO-LOPEZ, A. D. Encapsulation and pigmenting potential of betalains of pitaya (*Stenocereus pruinosus*) fruit. **Journal of Food Science and Technology-Mysore**, v. 55, p. 2436-2445, 2018.

VAILLANT, F.; PEREZ, A.; DAVILA, I.; DORNIER, M.; REYNES, M. Colorant and antioxidant properties of red pitahaya (*Hylocereus* sp.), **Fruits**, v. 60, p. 3-12, 2005.

VASCONCELOS, M. A. S; FILHO, A. B. M. **Conservação de alimentos**. Recife – EDUFPRPE, 130 p. 2010.

VERGARA, C.; SAAVEDRA, J.; SÁENZ, C.; GARCÍA, P.; ROBERT, P. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, v. 157, p. 246–251, 2014.

VISHNU, K.K.; AJEESHKUMAR, K.R.; REMYAKUMARI, B.; GANESAN, S.C.; NILADRI, R.G.K., LEKSHMI, K. SHYNI, K., MATHEW, S. Gastroprotective effect of sardine oil (*Sardinella longiceps*) against HCl/ethanol-induced ulceration in Wistar rats. **International Journal of Fisheries and Aquatic Studies**, v. 5, p. 118–124, 2017.

- WANG, X.; WU, Y.; CHEN, G.; YUE, W.; LIANG, Q.; WU, Q. Optimization of ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from *Sparganii rhizoma* with response surface methodology. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 20 (3), p. 846-854, 2013.
- WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DZAH, C. S.; ZANDILE, M.; DUAN, Y.; MA, H.; LUO, X. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops - A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 48, p. 538-549, 2018.
- WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, p. 1801-1812, 1999.
- WIDYANINGSIH, A.; SETIYANI, O.; UMAROH, U.; SOFRO, M. A. U.; AMRI, F. Effect of consuming red dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) juice on the levels of hemoglobin and erythrocyte among pregnant women. **Belitung Nursing Journal**, v. 3, p. 255-264, 2017.
- YAMASHITA, C.; CHUNG, M. M. S.; DOS SANTOS, C.; MAYER, C. R. M.; MORAES, I. C. F.; BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 256-262, 2017.
- YE, Q.; GEORGES, N.; SELOMULYA, C. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 78, p. 167-179, 2018.
- ZAID, R. M.; MISHRA, P.; TABASSUM, S.; AB WAHID, Z.; SAKINAH, A. M. High methoxyl pectin extracts from *Hylocereus polyrhizus*'s peels: Extraction kinetics and thermodynamic studies. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 1147-1157, 2019.
- ZAMBRANO, M. V.; DUTTA, B.; MERCER, D. G.; MACLEAN, H. L.; TOUCHIE, M. Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 88, p. 484-496, 2019.
- ZHANG, R.; LI, S.; ZHU, Z.; HE, J. Recent advances in valorization of *Chaenomeles* fruit: A review of botanical profile, phytochemistry, advanced extraction technologies and bioactivities. **Trends in Food Science & Technology**, v. 91, p. 467-482, 2019.
- ZOTARELLI, M. F.; SILVA, V. M.; DURIGON, A.; HUBINGER, M. D.; LAURINDO, J. B. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v. 305, p. 447-454, 2017.
- ZHU, W.; AI, Y.; FANG, F.; LIAO, H. Application of Thermosonication in Red Pitaya Juice Processing: Impacts on Native Microbiota and Quality Properties during Storage. **Foods**, v. 10, p. 1-12, 2021.