



**INSTITUTO
FEDERAL**

Ceará

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE CAMPUS LIMOEIRO DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

VANDESONIA MARIA DE SOUSA OLIVEIRA

**EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS DE ALTO VALOR BIOLÓGICO A PARTIR DE
SUBPRODUTOS DE PITAIA (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose)
POR MEIO DE MICRO-ONDAS**

LIMOEIRO DO NORTE

2021

VANDESONIA MARIA DE SOUSA OLIVEIRA

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS DE ALTO VALOR BIOLÓGICO A PARTIR DE
SUBPRODUTOS DE PITAIA (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose) POR
MEIO DE MICRO-ONDAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
em Tecnologia de Alimentos, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará (IFCE) – *Campus* Limoeiro do Norte,
como requisito parcial para a obtenção do
Título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Virna Luiza de Farias

LIMOEIRO DO NORTE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O48e Oliveira, Vandesonía Maria de Sousa.
Extração de compostos de alto valor biológico a partir de subprodutos de pitaia (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose) por meio de micro-ondas /Vandesonía Maria de Sousa Oliveira. - 2021.
99 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia de Alimentos, *Campus* Limoeiro do Norte, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Virna Luiza de Farias.
1. *Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose. 2. Subprodutos de pitaia. 3. Compostos bioativos. 4. Extração assistida por micro-ondas. I. Título.

CDD 664



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145 - Bairro Centro - CEP 62930-000 - Limoeiro do Norte - CE - www.ifce.edu.br

ANEXO

VANDESÔNIA MARIA DE SOUSA OLIVEIRA

EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS DE ALTO VALOR BIOLÓGICO A PARTIR DE SUBPRODUTOS DE PITAIA (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose) POR MEIO DE MICRO-ONDAS"

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *Campus* Limoeiro do Norte como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Aprovado em: 17/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Virna Luiza de Farias (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
(IFCE) – *campus* Limoeiro do Norte

Profa. Dra. Luana Guabiraba Mendes (Membra Externa Titular)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
(IFCE) - *campus* Limoeiro do Norte

Prof. Dr. Ruann Janser Soares de Castro (Membro Externo)
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Documento assinado eletronicamente por **Virna Luiza de Farias, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 17/06/2022, às 10:45, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luana Guabiraba Mendes, Usuário Externo**, em 17/06/2022, às 14:23, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ruann Janser Soares de Castro, Usuário Externo**, em 20/06/2022, às 09:23, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3832761** e o código CRC **42F1A7D2**.

A Deus, o Dono de todas as coisas e que me guiou até aqui.

Aos meus pais (*in memoriam*), que esse seja mais um presente que lhes possa dar.

Ao meu companheiro, que não há palavras para descrever e agradecer.

À minha família (de sangue e de coração), que sempre me apoiou e torceu por mim.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente pela vida e por tudo que representa esta vitória para mim. Agradeço ao Senhor por ter chegado até aqui, por ter realizado essa pesquisa com tanta vontade e carinho. Agradeço por estar realizando esse sonho, este que não é só meu, mas era sonho dos meus pais também.

À minha mãe, Francisca Vanuza de Sousa (*in memoriam*), apesar de não ter estado fisicamente ao meu lado nessa fase da minha vida, sempre permaneceu comigo em cada ensinamento e lembranças. Sempre quis que eu estudasse e pudesse aproveitar oportunidades que nunca teve, e, enquanto estive em vida, fez de tudo para me dar o melhor que podia. Parte de quem sou hoje, da mulher que obtém essa conquista, parte dessa, com certeza devo à minha mãe. Todo o meu amor e saudade!

Ao meu pai, Raimundo Wilson de Sousa Oliveira (*in memoriam*). Infelizmente, não pudemos gozar de muito tempo juntos, mas sei que sempre quis o melhor para mim e sei também que estudar e ser uma pessoa de bem era o que mais desejava para mim. Todo o meu amor e saudade!

À minha eterna vó/mãe, Elizabeth de Sousa Oliveira. A esta mulher, nada, absolutamente nada que eu fale vai poder expressar o que sinto e o quanto quero agradecer. Digo apenas que parte de quem eu sou deve-se a ela, que é minha força, é vida para mim, é meu amor para vida toda. Eu agradeço por ter a senhora, vó. Agradeço por ser sua neta, pela sua vida, por tudo que sempre fez e faz por mim, por sempre ter sido luz, força, fé, inspiração e amor para mim. Obrigada, vó, amo a senhora!

Aos meus irmãos queridos, Pedro Francisco Ribeiro Filho e Uelington Bruno Sousa Oliveira, que, apesar de não conviverem muito comigo, são pessoas extremamente especiais e importantes para mim. Agradeço por ter o prazer de compartilhar o sangue e o meu coração com vocês, amo demais vocês. Obrigada por serem meus irmãos, por me motivarem a querer ser uma pessoa melhor.

Ao meu companheiro amado, Izoneto Ademar de Sousa, que com palavras não consigo expressar meu agradecimento. Agradeço primeiro a Deus por colocá-lo em minha vida. Agradeço a este ser humano maravilhoso, por ser a pessoa incrível que é, por ser tão importante e especial em minha vida, por tudo e por tanto que sempre fez e faz por mim. Agradeço o companheiro amoroso e cuidadoso que sempre foi comigo. Agradeço por todo apoio e compreensão, por ter me ajudado a chegar até aqui, sem você essa jornada teria sido muito mais difícil. Agradeço por cada momento em que estive comigo, por sempre ter sido força e

motivação para mim, por acreditar tanto em mim, às vezes até mais do que eu mesma. Você é luz na minha vida, e eu agradeço imensamente por tudo que construímos até aqui. Eu amo você!

À minha *best* mais que irmã Francisca Antoniele Melo da Costa. Agradecer a esta criatura magnífica de Deus é algo que nenhuma palavra poderia expressar o quanto tenho a dizer. Mas em minhas humildes frases, quero dizer o quanto sou grata por tê-la em minha vida, sou grata pela sua amizade, sempre inabalável, por seu companheirismo para todas as horas, por seu carinho sem tamanho, pela sua luz que é tão grande que nos inunda e nos felicita só de estar perto de você, por tudo que já fez por mim, por toda a irmandade que sempre me deu. Agradeço também por ter sempre acreditado em mim, torcido e me apoiado incondicionalmente para que eu chegasse até aqui, como pessoa e como profissional. Amo você, minha “gêma”!

Às minhas amigas e irmãs Bianca Mara Reges e Lidenes Girão Rabelo de Oliveira. Essas duas que Deus me presenteou desde a graduação são muito importantes para mim, e tiveram participação efetiva nessa conquista. Agradeço primeiramente por tê-las em minha vida, agradeço por terem compartilhado comigo tantos momentos, os bons e, principalmente, os difíceis. Saibam que vou levar para toda a vida todos os ensinamentos que vivemos juntas. Agradeço por terem estado presentes e disponíveis quando precisei de vocês. Agradeço por terem sido as minhas colegas de quarto/casa. Agradeço pelos trabalhos que fizemos juntas. Mas agradeço principalmente por serem minhas amigas/irmãs do coração. Agradeço e desejo que possamos manter nossos laços firmes e fortes até ficarmos bem velhinhas. Amo vocês, “gordas”!

À minha prima Elizabeth Cristina Oliveira Lima Matos. Agradeço por ter sempre me apoiado e acreditado tanto em mim, pelas nossas conversas em que me escutou, motivou e aconselhou quando precisei. Você me inspirou e ajudou muito, muito obrigada, amo você!

À minha mãe (mãe do meu companheiro), Maria Ivanilce de Sousa, que me recebeu em sua casa e sua família como uma filha amada. Obrigada por todo carinho, cuidado e atenção que sempre tem comigo. Obrigada por ser uma mãe para mim, amo a senhora!

À minha doce irmã (irmã do meu companheiro), Kaiane Gabriele de Sousa, que sempre me dedicou tanto amor e carinho, que, mesmo não entendendo o que estudo, sempre me apoiou e torceu por mim. Obrigada pela sua doçura e companhia, você é uma pessoa incrível que me motiva a buscar o melhor em mim. Amo você.

Ao meu sogro, Ademar Cirilo de Sousa, que é um homem maravilhoso e me recebeu com tanto carinho em sua casa e no seio de sua família. Apesar de não entender muito o que estudo, sempre me apoiou e acreditou em mim. Você mora no meu coração.

À minha vó e tias queridas (família do meu companheiro), Rosa Maria de Sousa, Ivanilda Maria de Sousa, Maria da Conceição de Sousa (Tia Ceição), Maria de Lourdes de Sousa Almeida, Maria Firmiana de Sousa (Tia Neném) e Maria José de Sousa (Tia Mazé). Agradeço por tudo que sempre fizeram por mim, por todo o imenso carinho, por terem me recebido como um membro da família como se eu tivesse nascido e sido criada entre vocês. Agradeço por todos os mimos, por toda a confiança que sempre depositaram em mim. Obrigada por me receberem como família. Amo vocês.

À “Tirene” (Francisca Irene Ribeiro) e à Tia Rita (Rita Maria Ribeiro), obrigada por serem as pessoas incríveis que são e por sempre terem sido tão maravilhosas comigo. Obrigada por sempre desejarem o melhor para mim e torcerem pelo meu sucesso. Amo vocês!

Às minhas amigas queridas da faculdade, Ana Livia Ramos Silva, Joyciane da Silva Gomes e Laiana Kátia Miranda de Lima, que também começaram a jornada acadêmica comigo e que sempre me apoiaram e torceram por mim. São amigas que, apesar de não ver frequentemente, são muito especiais para mim e me inspiraram também a chegar até aqui.

À “Fática” (Maria de Fátima Melo da Costa Filha), Francisca Leidiane Melo, Maria de Fátima Melo da Costa e a toda família Melo por serem essa família tão maravilhosa que não só me acolheram como membro agregado, mas que são parte importante da pessoa que tenho me tornado a cada dia. Obrigada por terem sempre acreditado e torcido tanto por mim. Amo vocês.

Aos meus familiares, tias, tios, primas, primos e todos os outros parentes que sempre torceram e desejaram o meu sucesso e felicidade. A energia positiva e o carinho de vocês me alcançaram e fazem parte dessa vitória também.

À Mãe Luiza de Marilac Reges e as tias Rosa Maria Reges e Luzia de Fátima Reges por terem sempre me recebido tão bem, como sendo da família, por terem torcido por mim e me apoiado nessa caminhada. Vocês ocupam um lugar especial no meu coração!

À minha mãe de coração, Angela Merrisi da Silva, que me recebeu não só em sua casa, mas também no seio de sua família como uma filha muito amada. Grata por tudo que fez por mim. amo muito a senhora!

Às minhas queridas amigas de escola e de vida, Ana Patrícia da Silva, Maria Clécia do Nascimento e Maria Jocilene de Lima, que sempre estiveram torcendo por mim, que sempre acreditaram e desejaram o meu sucesso. Obrigada por serem quem são e por estarem na minha vida. Amo vocês!

Aos meus amigos queridos, Daniele Mourão de Sousa e Márcio Bezerra Ribeiro, que sempre torceram muito e acreditaram em mim. Vocês são incríveis e me inspiram muito a correr

atrás de tudo que desejo na vida, vocês são força e inspiração para mim. Obrigada por tudo, meus amigos. Amo vocês!

À minha querida amiga, Ana Rita de Lima Freitas Benjamim, que é uma mulher forte e guerreira. Essa pessoa incrível me inspira muito e sempre acreditou em mim e torceu pelo meu sucesso. Obrigada por tudo, minha amiga. Amo você!

À minha querida orientadora, Profa. Dra. Virna Luiza de Farias, que é simplesmente espetacular e faz não haver palavras o suficiente para agradecer. Sou imensamente grata por ter tido esta pessoa incrível como orientadora, ela tornou toda a experiência melhor, não só por ser uma grande figura de admiração e respeito para mim, mas principalmente por também ser uma pessoa maravilhosa que torna as coisas muito mais agradáveis e fáceis de lidar. Em termos de orientação acadêmica, fico extremamente lisonjeada de ter sido orientada por ela, aprendi muito e me sinto imensamente feliz de ter trabalhado ao seu lado. Obrigada por tudo e por tanto.

À minha querida colega de trabalho e bolsista da graduação, Milca Jennifer Saraiva Lima, que foi importantíssima no desenvolvimento da pesquisa. Foi muito gratificante trabalhar com esta pessoa tão iluminada e divertida. Agradeço muito por termos compartilhado essa experiência. Obrigada por todas as suas contribuições.

À professora e, na época de estudo, coordenadora do mestrado, Dra. Renata Chastinet Braga. Não há palavras que eu possa usar para expressar o quanto agradeço a esta pessoa, sempre foi tão maravilhosa, como pessoa e como profissional. Apenas agradeço por tudo que sempre fez por mim e pelo mestrado, sem você eu não estaria aqui hoje. Obrigada!

À professora e querida amiga, Dra. Sandra Maria Lopes dos Santos. Você foi uma pessoa essencial para o meu desenvolvimento no mestrado. Agradeço por tudo que fez por mim, por cada ensinamento, por cada palavra amiga e por todo carinho que sempre teve comigo. Você é um ser de luz, obrigada de coração.

À professora e figura de grande admiração e respeito, Dra. Marlene Nunes Damaceno. Agradeço por tudo que sempre fez por todos nós (alunos) e por ser essa pessoa incrível que inspira a todos por onde quer que passe.

Às minhas amigas e colegas de mestrado, Ana Thaís Campos de Oliveira e Fernanda Tayla de Sousa Silva. Obrigada por serem pessoas tão incríveis e por me inspirarem a ser o melhor de mim. Vocês são luz aonde quer que vão. A presença de vocês tornou o mestrado uma experiência melhor, e eu me tornei uma profissional melhor também. Obrigada, meninas!

À querida secretária da coordenação do mestrado, Marleide de Oliveira Silva. Grata por ter sido sempre tão eficiente, simpática, proativa e paciente. Seu trabalho fez muita diferença no meu desenvolvimento no mestrado.

Aos membros da minha banca de qualificação, professores Dr. Jonas Luiz Almada da Silva e Dra. Nayara Coriolano de Aquino, que contribuíram imensamente para o melhoramento do meu trabalho e meu crescimento como acadêmica, pesquisadora e profissional de alimentos.

Aos membros da minha banca de defesa, professores Dr. Ruann Janser Soares de Castro e Dra. Luana Guabiraba Mendes. As maravilhosas contribuições de vocês tornaram este trabalho ainda melhor, e com certeza me engrandeceram imensamente em conhecimento e inspiração profissional. Grata por terem participado do meu trabalho e me ajudado a chegar aonde estou.

A todos os professores do mestrado que contribuíram para o meu aprendizado e aperfeiçoamento como profissional e pessoa.

Aos meus colegas de mestrado, da minha turma e das outras turmas também. Grata por ter compartilhado as experiências do mestrado com vocês e por poder aprender um pouco mais da profissão e da vida.

Aos técnicos dos laboratórios do IFCE, em especial a Luisa Kélbia Maia, Francisco Jorge Nogueira de Moura, Mayra Cristina Freitas Barbosa, Jarbas Rodrigues Chaves, Esiana de Almeida Rodrigues, Francisco Jonathan de Sousa Cunha Nascimento e Andreia de Araujo Freitas Barroso, por toda a dedicação e ajuda fornecida durante minha estadia nos laboratórios. Grata por tudo que sempre fizeram e pelas conversas animadoras e motivacionais que tive com alguns de vocês.

Ao pessoal da limpeza do IFCE por tudo que sempre fizeram, pela atenção, pela gentileza, pelo ótimo trabalho em manter nossos laboratórios limpos e organizados, por serem pessoas maravilhosas que tornavam os ambientes mais alegres.

Aos funcionários da biblioteca por terem sido tão gentis e eficientes, sempre dispostos a me auxiliar quando precisei da ajuda deles.

Aos bolsistas da graduação com quem trabalhei e desfrutei de momentos de aprendizado e descontração. Obrigada por terem feito parte dessa caminhada comigo e terem me trazido alegrias e conhecimento.

Às mestras Anakláudia Sombra Santos e Claudene Guerreiro Chaves, com quem tive o prazer de trabalhar e aprender muito enquanto estavam em sua jornada rumo ao título de mestre. Grata pelo aprendizado, carinho, apoio e torcida que sempre me dedicaram.

Às mestras Graziella Iara Silva e Maria Izamara de Jesus Norte, que são figuras que sempre me inspiraram muito e sei que torceram e acreditaram em mim.

A todos os amigos, colegas e conhecidos que de alguma forma torceram por mim e acreditaram em mim, grata a todos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao Glaciliano Targino da Silva, a Frutacor e aos demais funcionários da empresa que contribuíram de alguma forma. Agradeço as visitas às fazendas e a concessão dos subprodutos de pitaia para realização dessa pesquisa. Grata por toda a recepção e atenção que me deram.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará *Campus* Limoeiro do Norte, pela estrutura concedida para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente estudo objetivou estudar a influência do uso do micro-ondas na extração de compostos bioativos a partir de subprodutos de pitaia (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose), uma vez que a pitaia – fruta exótica que tem mostrado acentuada expansão comercial e bastante interesse pela comunidade científica, sendo estudadas tanto a polpa quanto a casca – e o uso de tecnologias verdes de extração também são assuntos pertinentes nas pesquisas atuais. O micro-ondas, que é uma dessas técnicas, tem mostrado ótimos resultados na obtenção de compostos de alto valor biológico a partir de diversos materiais vegetais e seus subprodutos. Dessa forma, para o experimento, elaborou-se um planejamento fatorial para processo de extração assistida por micro-ondas (EAM), averiguando a influência da massa e do tempo sobre parâmetros físicos (viscosidade, luminosidade – L^* , croma – C^* e ângulo Hue – h°) e compostos bioativos (polifenóis extraíveis totais – PET, betacianinas – Bc, betaxantinas – Bx e betalaínas totais – BET). Verificou-se que as características físicas dos extratos líquidos da EAM foram afetadas pelas condições de processamento, uma vez que se obtiveram variações de 49,0 a 66,6 mPa.s para a viscosidade; de 44,54 a 55,75 para L^* ; de 24,45 a 42,62 para C^* e de 3,67 a 20,57 para h° . Para os aspectos físicos, exceto a viscosidade, verificou-se que o uso de maiores massas resultou em extratos de maior qualidade, destacando-se com melhores valores T4 (2,00 g e 90 s) e T5 (1,665 g e 60 s) para L^* e T5 para C^* . Para os compostos bioativos em extratos liofilizados da EAM, houve bastante variação, em que o teor dos PET oscilou de 409,27 a 835,65 mg EAG.100 g⁻¹; para Bc, verificou-se conteúdo de 161,16 a 247,00 mg.100 g⁻¹; para Bx, de 101,12 a 147,19 mg.100 g⁻¹; e para BET, alcançaram-se teores de 263,80 a 375,49 mg.100 g⁻¹. Constatou-se também que os tratamentos T5 (1,665 g e 60 s) e T1 (1,33 g e 30 s) obtiveram os melhores teores dos pigmentos e que, para os PET, T6 (1,665 g e 60 s), T4 (2,00 g e 90 s) e T1 (1,33 g e 30 s) destacaram-se. Entretanto, não foi possível realizar a otimização da EAM, visto que não houve ajuste dos dados ao modelo para nenhum dos parâmetros avaliados, sendo interessante realizar estudos futuros com aplicação de condições distintas para obtenção de melhores resultados. No entanto, de acordo com os resultados encontrados nos extratos líquidos e liofilizados, verificou-se que houve uma tendência de maiores teores de compostos bioativos e melhores características físicas quando houve aumento da massa de casca de pitaia. Os extratos obtidos na EAM apresentaram características vantajosas para aplicações futuras em produtos alimentícios. Pigmentos e compostos fenólicos foram extraídos eficientemente de casca de pitaia aplicando processo de micro-ondas. Ressalta-se ainda que os subprodutos de pitaia (*Hylocereus polyrhizus*) produzida na Chapada do Apodi

mostraram-se como matérias-primas promissoras para aproveitamento, sendo boas fontes para a extração de compostos de alto valor biológico.

Palavras-chave: Betalaínas. Compostos bioativos. Polifenóis.

ABSTRACT

The present research aims to study the influence of the usage of microwaves on the extraction of bioactive compounds from pitaya by-products (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose), since pitaya - an exotic fruit that has shown marked commercial expansion and an increasing interest by the scientific community, being studied both its pulp and its skin – and the use of green technologies of extraction are also relevant subjects in multiple current research. The microwave, which is one of these techniques, has shown excellent results in obtaining compounds of high biological value from various plant materials and their by-products. Thus, for the experiment, a factorial design was elaborated for the microwave-assisted extraction process (MAE), investigating the influence of mass and time on physical parameters (viscosity, luminosity – L^* , chroma – C^* and Hue angle – h°) and bioactive compounds (total extractable polyphenols – TEP, betacyanins – Bc, betaxanthines – Bx and total betalains – TBE). It was verified that the physical characteristics of the MAE liquid extracts were affected by the processing conditions, since variations from 49.0 to 66.6 mPa·s were obtained for viscosity; from 44.54 to 55.75 for L^* ; from 24.45 to 42.62 for C^* and from 3.67 to 20.57 for h° . For the physical aspects, except for viscosity, it was found that the use of higher masses resulted in higher quality extracts, being highlighted by its best values T4 (2.00 g and 90 s) and T5 (1.665 g and 60 s) for L^* and T5 for C^* . For the bioactive compounds in lyophilized extracts from MAE, there was a large variation, in which the TEP content ranged from 409.27 to 835.65 mg EAG.100 g⁻¹, for Bc there was a content from 161.16 to 247.00 mg.100 g⁻¹, for Bx from 101.12 to 147.19 mg.100 g⁻¹, and for TBE levels were reached from 263.80 to 375.49 mg.100 g⁻¹. While the treatments T5 (1.665 g and 60 s) and T1 (1.33 g and 30 s) obtained the best pigment levels; for TEP, T6 (1.665 g and 60 s), T4 (2.00 g and 90 s) and T1 (1.33 g and 30 s) were noteworthy. It was not possible to perform the optimization of the MAE, since there was no adjustment of the data to the model for any of the parameters evaluated, which may be interesting for future studies with the application of different conditions in order to obtain better results. However, according to the results found in the liquid and lyophilized extracts, it was found that there was a trend towards higher levels of bioactive compounds and better physical characteristics when there was an increase in pitaya peel mass. The extracts obtained at MAE showed advantageous characteristics for future applications in food products. Pigments and phenolic compounds were efficiently extracted from pitaya peel using microwave process. It is also noteworthy that the by-products of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) produced in Chapada

do Apodi proved to be promising raw materials for use, being good sources for the extraction of compounds of high biological value.

Keywords: Betalains. Bioactive compounds. Polyphenols.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Plantas de pitaia.	28
Figura 2 – Pitaia branca (<i>Hylocereus undatus</i>).	29
Figura 3 – Pitaia vermelha (<i>Hylocereus polyrhizus</i>).	30
Figura 4 – Estrutura base dos ácidos benzoicos.	34
Figura 5 – Estrutura base dos ácidos cinâmicos.	35
Figura 6 – Estrutura base de subgrupos de flavonoides.	36
Figura 7 – Estrutura molecular do ácido betalâmico.	39
Figura 8 – Cascas de pitaia dispostas sobre mesa inox para secagem natural.	60
Figura 9 – Casca de pitaia úmida (A), desidratada em estufa convencional sem circulação de ar (B) e liofilizada (C).	67
Figura 10 – Extrato de casca de pitaia com massa de 6,66 g.	69
Quadro 1 – Análise de variância dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para os extratos de casca de pitaia obtidos por EAM.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis e valores das variáveis independentes (massa e tempo) utilizados no delineamento experimental para a extração de compostos bioativos de casca de pitaia por EAM.....	65
Tabela 2 – Valores codificados e reais de massa e tempo para a extração de compostos bioativos de casca de pitaia por EAM.....	65
Tabela 3 – Parâmetros de qualidade de cascas desidratadas em estufa convencional sem circulação de ar e por liofilização.	68
Tabela 4 – Testes para definição dos pontos fatoriais do planejamento experimental da EAM.	70
Tabela 5 – Compostos bioativos (mg.100 g ⁻¹) presentes em casca liofilizada de pitaia.	71
Tabela 6 – Análises físicas em extratos líquidos de casca de pitaia obtidos por EAM.....	74
Tabela 7 – Efeito da massa de casca de pitaia (g) e do tempo de extração (s) sobre a luminosidade e o croma de extrato líquido da EAM.....	77
Tabela 8 – Análise de variância do delineamento fatorial da EAM para a luminosidade e o croma em extratos líquidos.	78
Tabela 9 – Análises de compostos bioativos (mg.100 g ⁻¹) em extratos liofilizados de casca de pitaia obtidos por EAM.	79
Tabela 10 – Efeito da massa de casca de pitaia (g) e do tempo de extração (s) sobre os PET de extrato liofilizado da EAM.....	82
Tabela 11 – Análise de variância do delineamento fatorial da EAM para os PET de extrato liofilizado.	83
Tabela 12 – Matriz de correlação entre parâmetros avaliados no delineamento fatorial da EAM.	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(C)	Ponto central do delineamento
a*	Variação de vermelho a verde
ABTS	2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
ANOVA	Análise de variância
b*	Variação de amarelo a azul
Bc	Betacianinas
BET	Betalaínas totais
Bx	Betaxantinas
C*	Croma
CDEC	Casca desidratada em estufa convencional sem circulação de ar
CDL	Casca desidratada em liofilizador
CLP	Casca liofilizada de pitaia
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl
EAG	Equivalente de ácido gálico
EAM	Extração assistida por micro-ondas
EAU	Extração assistida por ultrassom
EC	Equivalente de catequina
ECEP	Extração de campo elétrico pulsado
EFP	Extração de fluido pressurizado
EFS	Extração de fluido supercrítico
EQ	Equivalente de quercetina
ESA	Extração com solvente acelerado
ET	Equivalente de Trolox
FAO	Food and Agriculture Organization
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
h°	Ângulo Hue
L*	Luminosidade
M1	Massa 1 (1,33 g)
M2	Massa 2 (2,00 g)
mM Fe ²⁺	Milimol de Ferro II
MPa	Mega Pascal (unidade de pressão)

mPa.s	miliPascal segundo (unidade de pressão)
MW	Megawatt (unidade de energia)
NCBI	National Center for Biotechnology Information
PA	Pitaia amarela
PET	Polifenóis extraíveis totais
PM	Peso molecular
ppm	Partes por milhão
PU	Perda de umidade
PVPB	Pitaia vermelha de polpa branca
REN	Rendimento
RP-HPLC/MS	Reverse phase high-performance liquid chromatography-mass spectrometry
rpm	Rotação por minuto
sp.	Espécie
ssp.	Espécie e subespécie
TA	Temperatura atingida pelo extrato no ensaio
UNIIQUIM	Unidad de Informática del Instituto de Química
var.	Variedade
Visc.	Viscosidade

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	20
CONSIDERAÇÕES GERAIS	20
1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo geral	22
2.2 Objetivos específicos	22
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 2	26
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
1 APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS	26
2 PITAIA	28
3 COMPOSTOS BIOATIVOS	33
3.1 Compostos fenólicos	33
3.2 Betalaínas	38
4 TÉCNICAS VERDES DE EXTRAÇÃO	43
4.1 Extração assistida por micro-ondas (EAM)	43
REFERÊNCIAS	46
CAPÍTULO 3	58
INFLUÊNCIA DO MICRO-ONDAS NA EXTRAÇÃO DE POLIFENÓIS E BETALAÍNAS DE CASCAS DE PITAIA (<i>Hylocereus polyrhizus</i> (FAC WEBER) BRITTON & ROSE)	58
1 INTRODUÇÃO	58
2 MATERIAL E MÉTODOS	59
2.1 Reagentes e padrões	59
2.2 Material vegetal	59
2.3 Testes preliminares	60
2.3.1 Teste de desidratação de casca de pitaiá	61
2.3.2 Análises de qualidade nas cascas desidratadas de pitaiá	61
2.3.2.1 Rendimento de casca desidratada	61
2.3.2.2 Teor de umidade final	61
2.3.2.3 Cor instrumental	61
2.3.2.4 Polifenóis extraíveis totais (PET)	62

2.3.3 Testes para definição dos pontos fatoriais do planejamento da extração assistida por micro-ondas (EAM)	62
2.4 Liofilização de casca de pitaia para EAM	63
2.5 Quantificação de compostos bioativos na casca de pitaia liofilizada	63
2.5.1 Conteúdo de betalaínas totais (BET)	63
2.6 Extração de compostos bioativos da casca de pitaia liofilizada	64
2.6.1 Extração assistida por micro-ondas (EAM)	64
2.6.2 Planejamento experimental para EAM	64
2.6.3 Análises físicas dos extratos líquidos da EAM	65
2.6.3.1 Viscosidade.....	66
2.6.3.2 Cor instrumental.....	66
2.6.4 Análises de compostos bioativos em extratos liofilizados da EAM.....	66
2.8 Análise estatística.....	66
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.1 Testes preliminares.....	67
3.2 Quantificação de compostos bioativos na casca liofilizada de pitaia (CLP)	70
3.3 Delineamento fatorial da EAM	72
3.3.1 Efeito da massa e do tempo sobre os parâmetros físicos de extratos líquidos de casca de pitaia obtidos por EAM.....	73
3.3.2 Efeito da massa e do tempo sobre os compostos bioativos de extratos liofilizados de casca de pitaia obtidos por EAM.....	79
3.3.3 Interação entre parâmetros do delineamento fatorial da EAM.....	83
4 CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE A – QUADRO RESUMO DE TRABALHOS DOS ÚLTIMOS 5 ANOS COM EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E BETALAÍNAS DE PITAIA CITADOS NA DISSERTAÇÃO	91
APÊNDICE B – EXTRATO PREPARADO A PARTIR DE CASCA DE PITAIA LIOFILIZADA, UTILIZADO PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS BIOATIVOS.....	96
APÊNDICE C – EXTRATO LÍQUIDO DA EAM.....	97
APÊNDICE D – EXTRATO LIOFILIZADO DA EAM	98
APÊNDICE E – HISTOGRAMA DA ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DE DADOS DO PARÂMETRO L*	99

Capítulo 1

Considerações Gerais

1 INTRODUÇÃO

A pitaia (*Hylocereus* sp), conhecida como “fruta do dragão” (HUA *et al.*, 2018), é uma fruta exótica que tem crescido mercadologicamente, despertando interesse tanto por suas características sensoriais diferenciadas, como pelo seu valor nutricional, sendo uma fonte de polifenóis, betalaínas, vitamina C, açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, dentre outros (AL-MEKHLAFI *et al.*, 2021; ARIVALAGAN *et al.*, 2021; ESQUIVEL; STINTZING; CARLE, 2007a; ESQUIVEL; STINTZING; CARLE, 2007b; QIN *et al.*, 2020; SUH *et al.*, 2014).

De acordo com Carreón-Hidalgo *et al.* (2021), os dados disponíveis sobre a produção de pitaia indicam uma estimativa global de 1.933.750 toneladas. No Brasil, a produção em 2017 foi de aproximadamente 1.459 toneladas, provenientes de 640 estabelecimentos agropecuários, em que a área colhida foi de 536 hectares. O destaque nacional foi a região sudeste, contribuindo com 54,42% da produção (IBGE, 2021). Com base nos dados do PROHORT, até a primeira quinzena de junho de 2022, a comercialização de pitaia para as Ceasas (Centrais de Abastecimento) do Ceará foi de 40.825 kg (PROHORT, 2022).

Embora o principal uso desta fruta seja *in natura*, seu processamento está se desenvolvendo e ganhando espaço no mercado. Ela é utilizada para elaborar vários produtos de valor agregado, como processamento mínimo, suco, geleia, pó, vinho, conserva, entre outros. Porém, isso ainda está limitado a indústrias de pequena escala (JALGAONKAR *et al.*, 2020). Na região da Chapada do Apodi, por exemplo, é feito o despolpamento de parte da produção da pitaia para comercialização da polpa a granel, apesar da maior parte do cultivo ser destinado a venda *in natura* (informação verbal).¹

Com o crescente interesse por essa fruta e o aumento de seu uso para obtenção de novos produtos, é preciso pensar na destinação de seus subprodutos. A casca da pitaia é um dos materiais gerados a partir do seu processamento e é rica em nutrientes, compostos funcionais e tecnológicos, a exemplo: pigmentos betalaínas, polifenóis, vitamina C e pectina. Dessa forma, seu aproveitamento torna-se altamente desejável, uma vez que levará a redução de custos com

¹ Informação fornecida por funcionários da empresa Frutacor, entre dezembro de 2018 e abril de 2019.

o manejo de resíduos e lhe agregará valor (HUA *et al.*, 2018; KIM *et al.*, 2011; LEONG *et al.*, 2018; MELLO *et al.*, 2015; SUH *et al.*, 2014; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012; WU *et al.*, 2006).

É importante lembrar que os subprodutos resultantes do processamento industrial de frutas e vegetais, como cascas, sementes, restos de polpa e caroços, acarretam problemas ambientais recorrentes (DO NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015), como emissão de gases do efeito estufa, uso demasiado e poluição da terra e de recursos hídricos, contaminação do ar, do solo e da água, entre outros (NG *et al.*, 2020). Assim, é necessário tomar medidas que minimizem os efeitos negativos da geração desses resíduos.

Além da agressão ao meio ambiente, é um desperdício o descarte desses subprodutos, pois podem ser fontes de diversos nutrientes, como vitaminas, minerais, fibras, e compostos bioativos, por exemplo: carotenoides, fenólicos e vitamina C (DO NASCIMENTO FILHO; FRANCO, 2015). Estes compostos são detentores de propriedades altamente desejáveis, dentre elas, atividades antioxidante e antimicrobiana e efeitos anticancerígenos e anti-inflamatórios (CALDAS *et al.*, 2018; IGNAT *et al.*, 2013; TENORE; NOVELLINO; BASILE, 2012).

Aliado ao aproveitamento de subprodutos de hortifrútis, tem sido muito reportado o uso de tecnologias limpas de extração, que promovam maior proteção aos compostos de alto valor que estão sendo recuperados, e, conseqüentemente, maior qualidade para eles. Algumas vantagens dessas técnicas são o emprego de pouca energia e de pequena quantidade de solvente orgânico, a redução do tempo de tratamento e o alto rendimento (CARBONE *et al.*, 2020; DZAH *et al.*, 2020; FERRERES *et al.*, 2017; THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2017).

Uma tecnologia limpa para a obtenção de compostos de alto valor que tem sido usada com bastante êxito é a extração assistida por micro-ondas (ÁLVAREZ *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2020; CASAZZA; PETTINATO; PEREGO, 2020; FEKI *et al.*, 2021; FIGUEROA *et al.*, 2021; MA *et al.*, 2020; NAYAK *et al.*, 2015). Essa técnica apresenta muitos benefícios, pois seu processo requer curto tempo, possui alta taxa e seletividade de extração, baixa demanda de trabalho e baixo custo (CAI *et al.*, 2021).

Levando em consideração o cenário apresentado acima, torna-se interessante a busca por alternativas de aproveitamento de subprodutos de pitaia, com o intuito de prevenir problemas ambientais com o descarte inadequado desses materiais e obter compostos de alto valor biológico agregado, os quais detêm potencial de serem utilizados para o desenvolvimento de produtos com benefícios funcionais e tecnológicos.

É importante salientar também que as técnicas de extração de compostos bioativos são fatores cruciais na qualidade do material que está sendo obtido, assim é primordial utilizar métodos que promovam a melhor qualidade possível para os produtos, e nesse contexto as tecnologias verdes, a destacar aqui o micro-ondas, já mostraram atender a esse objetivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a influência do uso do micro-ondas na extração de compostos bioativos a partir de subprodutos de pitiaia (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose).

2.2 Objetivos específicos

- a) aproveitar subprodutos de pitiaia para extração de compostos de alto valor biológico;
- b) extrair e determinar os teores de polifenóis e betalaínas de subprodutos de pitiaia;
- c) utilizar planejamento fatorial para encontrar as melhores condições para extrair compostos bioativos de cascas de pitiaia através de extração assistida por micro-ondas;
- d) avaliar a influência do tempo e da massa na qualidade de extratos de cascas de pitiaia obtidos por meio de extração assistida por micro-ondas.

REFERÊNCIAS

AL-MEKHLAFI, N. A.; MEDIANI, A.; ISMAIL, N. H.; ABAS, F.; DYMERSKI, T.; LUBINSKA-SZCZYGEŁ, M.; VEARASILP, S.; GORINSTEIN, S. Metabolomic and antioxidant properties of different varieties and origins of Dragon fruit. **Microchemical Journal**, v. 160, s/n, p. 105687, 2021.

ÁLVAREZ, A.; POEJO, J.; MATIAS, A. A.; DUARTE, C. M.; COCERO, M. J.; MATO, R. B. Microwave pretreatment to improve extraction efficiency and polyphenol extract richness from grape pomace. Effect on antioxidant bioactivity. **Food and Bioproducts Processing**, v. 106, s/n, p. 162-170, 2017.

ARAÚJO, R. G.; RODRIGUEZ-JASSO, R. M.; RUIZ, H. A.; GOVEA-SALAS, M.; PINTADO, M. E.; AGUILAR, C. N. Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 154, s/n, p. 112623, 2020.

ARIVALAGAN, M.; KARUNAKARAN, G.; ROY, T. K.; DINSHA, M.; SINDHU, B. C.; SHILPASHREE, V. M.; SATISHA, G. C.; SHIVASHANKARA, K. S. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). **Food Chemistry**, v. 353, s/n, p. 129426, 2021.

CAI, H.; YOU, S.; XU, Z.; LI, Z.; GUO, J.; REN, Z.; FU, C. Novel extraction methods and potential applications of polyphenols in fruit waste: a review. **Journal of Food Measurement and Characterization**, s/v, s/n, p. 1-12, 2021.

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, s/n, p. 86-91, 2018.

CARBONE, K.; MACCHIONI, V.; PETRELLA, G.; CICERO, D. O. Exploring the potential of microwaves and ultrasounds in the green extraction of bioactive compounds from *Humulus lupulus* for the food and pharmaceutical industry. **Industrial Crops and Products**, v. 156, s/n, p. 112888, 2020.

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**, v. 151, s/n, p. 110821, 2021.

CASAZZA, A. A.; PETTINATO, M.; PEREGO, P. Polyphenols from apple skins: A study on microwave-assisted extraction optimization and exhausted solid characterization. **Separation and Purification Technology**, v. 240, s/n, p. 116640, 2020.

DO NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. Avaliação do potencial dos resíduos produzidos através do processamento agroindustrial no Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

DZAH, C. S.; DUAN, Y.; ZHANG, H.; WEN, C.; ZHANG, J.; CHEN, G.; MA, H. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. **Food Bioscience**, v. 35, s/n, p. 100547, 2020.

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**, v. 81, n. 1, p. 7-14, 2007b.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Phenolic compound profiles and their corresponding antioxidant capacity of purple pitaya (*Hylocereus* sp.) genotypes. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 62, n. 9-10, p. 636-644, 2007a.

FEKI, F.; KLISUROVA, D.; MASMOUDI, M. A.; CHOURA, S.; DENEV, P.; TRENDAFILOVA, A.; CHAMKHA, M.; SAYADI, S. Optimization of microwave assisted extraction of simmondsins and polyphenols from Jojoba (*Simmondsia chinensis*) seed cake using Box-Behnken statistical design. **Food Chemistry**, v. 356, s/n, p. 129670, 2021.

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 by-products using microwave-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 230, s/n, p. 463-474, 2017.

FIGUEROA, J. G.; BORRÁS-LINARES, I.; DEL PINO-GARCÍA, R.; CURIEL, J. A.; LOZANO-SÁNCHEZ, J.; SEGURA-CARRETERO, A. Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. **Food Chemistry**, v. 352, s/n, p. 129300, 2021.

HUA, Q.; CHEN, C.; ZUR, N. T.; 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 and Biochemistry**, v. 126, s/n, p. 117-125, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017/Resultados definitivos/Agricultura: Pitaia/Brasil**. Disponível em: https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?loalidade=0&tema=76371. Acesso em: 28 dez. 2021.

IGNAT, I.; RADU, D. G.; VOLF, I.; PAG, A. I.; POPA, V. I. Antioxidant and antibacterial activities of some natural polyphenols. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 47, n. 5-6, p. 387-399, 2013.

JALGAONKAR, K.; MAHAWAR, M. K.; BIBWE, B.; KANNAUJIA, P. Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus Spp.*): A Review. **Food Reviews International**, s/v, s/n, p. 1-27, 2020.

KIM, H.; CHOI, H. K.; MOON, J. Y.; KIM, Y. S.; MOSADDIK, A.; CHO, S. K. Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. C38-C45, 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, s/n, p. 546-558, 2018.

MA, Y.; LI, J.; TONG, F.; XIN, X. L.; AISA, H. A. Optimization of microwave-assisted extraction using response surface methodology and the potential anti-diabetic efficacy of *Nigella glandulifera* Freyn determined using the spectrum–effect relationship. **Industrial Crops and Products**, v. 153, s/n, p. 112592, 2020.

MELLO, F. R. D.; 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, n. 2, p. 323-328, 2015.

NAYAK, B.; DAHMOUNE, F.; MOUSSI, K.; REMINI, H.; DAIRI, S.; AOUN, O.; KHODIR, M. Comparison of microwave, ultrasound and accelerated-assisted solvent

extraction for recovery of polyphenols from *Citrus sinensis* peels. **Food Chemistry**, v. 187, s/n, p. 507-516, 2015.

NG, H. S.; KEE, P. E.; YIM, H. S.; CHEN, P. T.; WEI, Y. H.; LAN, J. C. W. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. **Bioresource Technology**, s/v, s/n, p. 122889, 2020.

PROHORT – Programa Brasileiro de Modernização do Mercado de Hortigranjeiro. Ministério da Agricultura. Dados 2022. 2022. Disponível em: <http://dw.ceasa.gov.br/#>. Acesso em: 14 jun. 2022.

QIN, Y.; LIU, Y.; ZHANG, X.; LIU, J. Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. **Food Hydrocolloids**, v. 100, s/n, p. 105410, 2020.

SUH, D. H.; LEE, S.; HEO, D. Y.; KIM, Y. S.; CHO, S. K.; LEE, S.; LEE, C. H. Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 34, p. 8764-8771, 2014.

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

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Microwave assisted extraction process of betalain from dragon fruit and its antioxidant activities. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 41-48, 2017.

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

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

1 APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS

Os avanços tecnológicos nas indústrias alimentícias e o mau gerenciamento de resíduos, corriqueiramente, conduzem à geração e ao acúmulo de quantidades elevadas de resíduos agrícolas e alimentícios (PARITOSH *et al.*, 2017). Em 2019 foi estimado que 931 milhões de toneladas de alimentos são desperdiçados a cada ano. Isto equivale a cerca de 23 milhões de caminhões de 40 toneladas totalmente carregados (UNEP, 2021). Nesse contexto, eleva-se a preocupação com alternativas para melhorar o gerenciamento dos resíduos, explorando-se principalmente o aproveitamento de subprodutos para o desenvolvimento de novos produtos de alto valor (NG *et al.*, 2020).

Visto que os subprodutos alimentares e suas fontes naturais (plantas medicinais, vegetais, frutas, raízes, tubérculos, sementes, grãos) constituem fontes abundantes de compostos de alto valor agregado, eles podem ser reutilizados devido às suas propriedades saudáveis e tecnológicas (RAMOS; JIMÉNEZ; GARRIGÓS, 2019). Alguns exemplos desses subprodutos obtidos a partir do aproveitamento de biorresíduos são biocombustíveis, enzimas, probióticos, compostos bioativos e plásticos biodegradáveis (MAINA; KACHRIMANIDOU; KOUTINAS, 2017). Dessa forma, são reaproveitados em diferentes indústrias, como em cosméticos, aditivos alimentares, produtos farmacêuticos, nutracêuticos, alimentos funcionais, bioenergia, fertilizantes, alimentos para animais, têxteis, embalagens, biomateriais, entre outros (RAMOS; JIMÉNEZ; GARRIGÓS, 2019).

Os resíduos de vegetais, como frutas e legumes, apresentam altos teores de compostos antioxidantes, presentes nas sementes, cascas e grãos (XIONG *et al.*, 2019). Levando-se em consideração o interesse que tem sido despertado por esses compostos e as informações constantes sobre novas fontes dessas substâncias, torna-se relevante a investigação a respeito do aproveitamento desses materiais para a produção de novos produtos com alto valor agregado.

Roriz *et al.* (2022) estudaram a otimização da recuperação de compostos bioativos de casca de *Hylocereus costaricensis* por meio de extração assistida por ultrassom (EAU). As

condições ideais foram obtidas extraíndo-se a 487 W por 38 min com uma razão sólido/solvente de 5/1 g/L, em que se obteve 3.600,0 mg.100 g⁻¹ de betacianinas totais.

López-Linares *et al.* (2021) propuseram um novo processo de extração verde assistido por micro-ondas, utilizando solventes eutéticos naturais profundos, para a recuperação de compostos antioxidantes de borra de café. Os autores obtiveram extratos com 0,48 mg equivalente de ácido gálico (EAG).g⁻¹ e 0,44 mg equivalente de catequina (EC).g⁻¹. Além de atividades antioxidantes de 0,55, 3,17 e 1,52 mg equivalente de trolox (ET).g⁻¹ para DPPH, ABTS e FRAP, respectivamente.

Buratto, Cocero e Martín (2021) caracterizaram os principais subprodutos residuais do processamento industrial do açaí: sementes; chorume ou pasta, composta por fibras e películas retidas pelo filtro; e polpa (parte não utilizada na comercialização do produto). Eles encontraram diversos compostos de alto valor, como ácidos graxos essenciais, polifenóis, flavonoides e hemicelulose. Os autores afirmaram que extratos obtidos a partir de subprodutos de sementes e polpas de açaí têm um grande potencial como aditivos antioxidantes, podendo ser aplicados nas indústrias cosmética e alimentícia.

Figuerola *et al.* (2021) produziram um ingrediente funcional com potencial para aplicações na indústria alimentícia a partir da casca de abacate. Foi utilizada uma extração assistida por micro-ondas, em que o extrato apresentou alta atividade antioxidante e elevada capacidade inibitória de metaloproteinases da matriz. De acordo com as observações relatadas, os autores sugerem no estudo o uso desse extrato como antioxidante para atuar como conservante no alimento ou como ingrediente em formulação de alimentos funcionais e nutracêuticos, apresentando atividades antioxidante e antienvhecimento.

Raj e Dash (2020) estudaram a otimização e cinética, além de aspectos termodinâmicos da EAU de fitocompostos da casca de pitaiá. No estudo desses autores, foram variados quatro elementos das condições de extração, sendo eles a temperatura (30 a 70 °C), a razão solvente para sólidos (10/1 a 30/1 mL/g), a concentração do solvente (30 a 60%) e o tempo (5 a 25 min). Com o delineamento aplicado, foram obtidos teores de 101,8 a 160,2 e 450,9 a 853,6 mg.100⁻¹ para betacianinas e fenólicos totais, respectivamente.

Mellinas, Jiménez e Garrigós (2020) extraíram compostos de alto valor das cascas de semente de cacau. Os extratos obtidos apresentaram potencial para aplicações tecnológicas e funcionais. Foram verificadas propriedades espumantes e emulsificantes e alta capacidade antioxidante, podendo ser utilizados em alimentos como bebidas e molhos, além de aplicação como conservantes em alimentos frescos embalados, devido a retardarem a oxidação.

Cunha *et al.* (2018) investigaram o efeito de extratos microencapsulados de casca de pitiaia em cor, textura e estabilidade oxidativa de rissóis suínos pressurizados a 500 MPa por 10 min e armazenados a 4 °C por 9 dias. Foi verificado que concentrações de 100 e 1000 ppm de extrato de casca de pitiaia microencapsulado atrasaram os processos oxidativos da proteína, reduzindo as mudanças de textura ao longo do armazenamento do produto.

Uma embalagem ativa e inteligente constituída de filmes de amido/álcool polivinílico adicionados de betalaínas de casca de pitiaia (*Hylocereus polyrhizus*) foi desenvolvida por Qin *et al.* (2020). Foi observado que a adição de extrato de casca de pitiaia melhorou as características gerais do filme, como barreira ao vapor de água e potencial mecânico. O extrato foi capaz de monitorar o frescor de camarão, pois apresentou alterações de cor visíveis devido aos compostos de nitrogênio voláteis acumulados durante o processo de deterioração do camarão.

2 PITAIA

A pitiaia, fruta rústica pertencente à família Cactaceae, é originária do continente americano, e hoje é cultivada em muitas áreas tropicais e subtropicais do mundo (HUA *et al.*, 2018). A planta que lhe frutifica é perene, com poucas exigências em relação ao solo, bastante adaptável a novos ambientes, o que lhe permite sobreviver sob condições climáticas adversas, suportando secas e temperaturas extremas (FIGURA 1) (COSTA *et al.*, 2014).

Figura 1 – Plantas de pitiaia.



Fonte: elaborada pela autora.

Diversas nomenclaturas são atribuídas a essa fruta, destacando-se “rainha da noite”, devido às suas grandes flores brancas ou rosadas que abrem somente uma noite, fechando-se nas primeiras horas do dia seguinte; e “fruta do dragão”, conhecida assim nos países do oriente, como China, Vietnã, Malásia e Japão, por causa da semelhança com as escamas características da figura de um dragão (ANDRADE; MARTINS, SILVA, 2007).

Apresentando em torno de 84 gêneros e 1.400 espécies nativas das Américas, diferentes frutos são cultivados na América Latina, existindo distintas espécies sob a denominação de pitaya, o que dificulta sua classificação botânica. Apesar disso, todas as espécies estão agrupadas em quatro gêneros principais: *Stenocereus* (Britton & Rose), *Cereus* (Mill), *Selenicereus* (Riccob) e *Hylocereus* (LIMA *et al.*, 2013).

O gênero *Hylocereus*, que comporta os frutos de maior importância econômica atualmente, apresenta frutos como uma baga, com tamanho variando de médio a grande, oblongos, com coloração de casca verde quando imaturo e vermelho-rosa ou amarela quando maduro, cobertos por grandes e longas escamas verdes (brácteas) nas pontas; algumas espécies possuem espinhos em sua casca. A polpa apresenta variação de cor do vermelho-púrpura brilhante ao branco, com numerosas sementes escuras comestíveis distribuídas por toda a polpa (NUNES *et al.*, 2014). As espécies mais cultivadas são *H. undatus* (FIGURA 2) e *H. polyrhizus* (FIGURA 3) (CHEW; HUNG; KING, 2019).

Figura 2 – Pitaia branca (*Hylocereus undatus*).



Fonte: PINE ISLAND NURSERY (2021).

Figura 3 – Pitaia vermelha (*Hylocereus polyrhizus*).



Fonte: elaborada pela autora.

A pitaia é uma fruta que apresenta forte potencial agrônômico e econômico, pois, além de sua rusticidade, oferece características sensoriais exóticas e atrativas, alto valor nutricional e propriedades funcionais (CORDEIRO *et al.*, 2015; ESQUIVEL *et al.*, 2007; PÉREZ-LOREDO *et al.*, 2017; WANITCHANG *et al.*, 2010; WU *et al.*, 2006).

Hylocereus polyrhizus é a espécie com maior produção e consumo. Além de possuir a casca rosada, sua polpa também apresenta cor intensa, indicando a presença de pigmentos, no caso as betalaínas, que podem desempenhar propriedades tecnológicas, como corante, e funcionais, como atividade antioxidante (ALVES; MONTEIRO; POMPEU, 2018).

O cultivo da pitaia no Brasil se iniciou recentemente, em torno de 15 anos, no estado de São Paulo. Atualmente se destacam como os maiores produtores do país, São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Goiás e, neste momento, Ceará vem se evidenciando no cultivo da pitaia, embora a sua produção seja ainda mais recente, aproximadamente 10 anos. Os plantios cearenses estão concentrados na região da Chapada do Apodi, localizando-se entre os municípios de Limoeiro do Norte e Quixeré, onde a produção de frutos pode ocorrer o ano inteiro (OLIVEIRA, 2019).

Ainda de acordo com Oliveira (2019), nessa região, em torno de 80% da produção anual da pitaia está concentrada nos meses de novembro a maio, sendo os outros 20% obtidos nos meses de julho a outubro. Segundo os produtores locais, para pitaia vermelha, a produção comercial se inicia 9 meses após o plantio, alcançando, no primeiro ano, a produtividade de 5 t ha⁻¹; de 10 t ha⁻¹ no segundo; de 20 t ha⁻¹ no terceiro; de 25 t ha⁻¹ no quarto ano; e, a partir daí, a média atinge entre 25 e 30 t ha⁻¹. Os produtores da Empresa Frutacor declararam que, para o ano de 2018, os cultivos somaram cerca de 40 hectares, havendo, portanto, um considerável aumento, já que Nunes *et al.* (2014) afirmaram uma soma de apenas aproximadamente 15 hectares para o ano de 2014.

Com a conquista territorial e comercial que a pitaia ganhou nos últimos tempos, juntamente com as inúmeras vantagens e possibilidades de aplicação, bastante interesse tem

sido despertado nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, sendo cada vez mais explorada, principalmente no preparo de alimentos, como em bebidas, sorvetes, geleias, doces, entre outros (ALVES; MONTEIRO; POMPEU, 2018).

Diversos estudos vêm sendo conduzidos com essa fruta. Zitha *et al.* (2022) analisaram as mudanças nos compostos bioativos de pitáia durante o seu desenvolvimento. Foi avaliado o período de 28 a 42 dias após a antese, obtendo-se variações de 7,09 a 250,0, 4,24 a 59,87 e 377,59 a 434,26 mg.100 g⁻¹ para betacianinas, betaxantinas e compostos fenólicos totais, nessa ordem.

Bueno *et al.* (2021) estudaram a qualidade e o prazo de validade de uma nova bebida produzida a partir de grãos de kefir de água e pitáia vermelha. A bebida apresentou capacidade antioxidante e boa aceitação sensorial. Bellucci *et al.* (2021) aplicaram extrato de pitáia vermelha como antioxidante natural em hambúrgueres de porco com reposição total de gordura animal. Eles observaram que o extrato melhorou a aceitação da cor e a preferência pelo produto em comparação com formulações que não continham o extrato. Os autores apontaram o extrato de pitáia vermelha como um antioxidante natural muito eficaz por retardar a cor e a deterioração oxidativa.

Carrera *et al.* (2021) otimizaram a EAU de betacianinas de pitáia utilizando ferramentas quimiométricas. Os autores obtiveram as condições ótimas de extração com metanol a 21,4% a 54,6 °C por 5 min, sob potência de 20%, ciclo de 0,3 s⁻¹ e razão sólido/solvente de 0,2/10 g/mL. Os teores de betacianinas alcançados para pitáias de origem da Indonésia, Espanha e México foram 84,0, 131,0 e 93,0 mg.100 g⁻¹, nessa ordem.

Uslu e Özcan (2021) estudaram o efeito da EAU sob vácuo em propriedades bioativas de pitáia (*Hylocereus undatus*). As condições avaliadas mostraram maior eficiência da extração quando se utilizou o vácuo frente a condições atmosféricas. A EAU sob vácuo alcançou teores de 11,03 a 17,92 mg EAG.100 g⁻¹ (fenólicos totais da polpa), 56,78 a 71,54 mg EAG.100 g⁻¹ (fenólicos totais da casca), 13,26 a 19,36 mg EQ.100 g⁻¹ (flavonoides totais da polpa) e 95,33 a 115,71 mg EQ.100 g⁻¹ (flavonoides totais da casca).

Yeh *et al.* (2020) estudaram os efeitos de extrato de casca de *Hylocereus polyrhizus* sobre a progressão de doença hepática alcoólica. Os autores concluíram que a suplementação com o extrato da casca de pitáia pode melhorar a esteatose hepática e a inflamação ao regular o metabolismo lipídico e modular o estresse oxidativo e a via hepática TLR4-MyD88 na doença hepática alcoólica induzida pela exposição crônica ao etanol.

Santos *et al.* (2020) avaliaram os efeitos do processamento na composição química, físico-química, enzimática e metabólica volátil de pitáia (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber)

Britton & Rose). A polpa de pitáia obtida por meio do tratamento empregando o fruto inteiro com adição de ácido ascórbico resultou em baixa atividade da polifenoloxidase e da peroxidase. Não houve alterações químicas ou físico-químicas significativas na maioria dos parâmetros avaliados desse tratamento. Apresentou ainda alto rendimento e alto teor de fibra em comparação com os demais tratamentos estudados.

De Lima *et al.* (2020) desenvolveram um corante de pitáia vermelho-roxo microfiltrado e estudaram as suas aplicações potenciais em alimentos. O corante demonstrou ter estabilidade microbiológica e físico-química ao longo de doze semanas de armazenamento. A análise sensorial mostrou resultados promissores para a adição do corante em iogurte como um ingrediente alimentar. Ele promoveu a melhoria da qualidade da cor, sem comprometer o aroma e outras características sensoriais.

Zulkifli *et al.* (2020) estudaram a otimização do conteúdo fenólico e de flavonoides totais e as propriedades antioxidantes do extrato de sementes desengorduradas de pitáia (*Hylocereus polyrhizus*). Em condições ótimas de extração, os autores alcançaram 128,58 mg EAG.g⁻¹ para conteúdo fenólico total, 9,805 mg equivalente de quercetina (EQ).g⁻¹ de flavonoides totais, 1,23 mM Fe²⁺.g⁻¹ para FRAP e 91,62% para ABTS.

Vijayakumar *et al.* (2020) exploraram o uso potencial de cascas de *Hylocereus polyrhizus* como fonte de agente protetor solar cosmeceútico. Verificou-se fator de proteção solar (FPS) excepcional, excelentes propriedades de absorção de UV e forte atividade antioxidante. Os resultados da pesquisa proporcionaram o desenvolvimento de uma formulação fotoprotetora incorporando o extrato de cascas de *H. polyrhizus* como um ingrediente ativo sinérgico.

Morais *et al.* (2019) avaliaram os efeitos da incorporação de *Lactobacillus acidophilus* ou *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* no conteúdo e bioacessibilidade de compostos fenólicos em polpa de pitáia vermelha. Os autores apontaram a fermentação da pitáia vermelha por probióticos como alternativa para aumentar a bioacessibilidade de determinados fenólicos e a sua atividade antioxidante.

Fathordoobady *et al.* (2019) otimizaram a extração de betacianinas da casca da pitáia por meio de fluido supercrítico. Eles estudaram o efeito da temperatura (40 a 60 °C), pressão (20 a 30 MPa) e proporção de cossolvente (10 a 20%). Os teores de betacianinas recuperadas variaram entre 13,78 e 25,86 mg.100 mL⁻¹.

Fan *et al.* (2018) estudaram o efeito da pulverização de polifenóis na qualidade de pitáia vermelha minimamente processada durante a sua vida de prateleira. A adição de polifenóis proporcionou a manutenção da qualidade da pitáia minimamente processada frente ao controle,

maior retenção de cor, amolecimento retardado, perda reduzida de conteúdo de sólidos solúveis, acidez titulável, betacianinas e fenólicos totais. Além disso, manteve a atividade antioxidante e suprimiu efetivamente o crescimento microbiano.

Como é percebido, a pitia é detentora de propriedades funcionais, sendo este um dos fatores de maior interesse, tanto para a comunidade científica quanto para aplicações tecnológicas. Dentre os compostos classificados como funcionais presentes na pitia, merecem destaque os polifenóis e as betalaínas (FERRERES *et al.*, 2017; RAMLI; ISMAIL; RAHMAT, 2014; THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2017).

3 COMPOSTOS BIOATIVOS

Os compostos bioativos são, em sua maioria, metabólitos secundários das plantas, que oferecem proteção contra o estresse biótico e abiótico, e atuam como estimuladores do crescimento (BANOŽIĆ; BABIĆ; JOKIĆ, 2020), além de poderem atuar de diversas formas no organismo humano, auxiliando a reduzir o risco de muitas doenças, como câncer, diabetes, problemas cardiovasculares, Alzheimer, entre outras (BHUSHAN *et al.*, 2021). Devido a essa gama de efeitos biológicos, os compostos bioativos podem ser aplicados na fabricação de alimentos funcionais e no tratamento de doenças (LIU, 2017; ZHANG *et al.*, 2019; KROYER, 2004).

Atualmente, tem-se conhecimento de diversos grupos desses compostos, no entanto destacam-se os compostos fenólicos, as antocianinas, as betalaínas e os carotenoides, sendo amplamente estudados os dois primeiros grupos, e mais recentemente o grupo das betalaínas (ver APÊNDICE A).

3.1 Compostos fenólicos

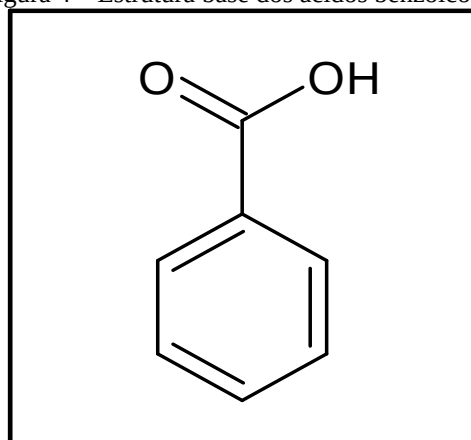
Os compostos fenólicos são um grupo diverso de substâncias químicas que possuem um ou mais anéis aromáticos com pelo menos um grupo hidroxila ligado, e são produzidos como metabólitos secundários pela maioria das plantas (BALANGE; BENJAKUL, 2009), sendo o maior grupo de fitoquímicos. São compostos naturais, com maior ocorrência em alimentos à base de plantas. Os compostos fenólicos da dieta ganharam bastante atenção entre nutricionistas, cientistas de alimentos e consumidores, devido ao seu papel na saúde humana (ÁVILA-ROMÁN *et al.*, 2021; TSAO, 2010).

Estes compostos variam de simples moléculas fenólicas a compostos altamente polimerizados, sendo divididos em várias classes, dentre as quais as mais conhecidas são ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos e lignanas. Destes, os ácidos fenólicos e flavonoides são considerados os principais compostos fenólicos da dieta (GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020; BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAM, 2006; MELINI; MELINI; ACQUISTUCCI, 2020; SANCHEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021; TSAO, 2010).

Os ácidos fenólicos compõem um dos maiores grupos de compostos fenólicos e são distintos de outros fenólicos por sua estrutura, contendo, geralmente, um grupo carboxila e um ou mais grupos hidroxila ligados ao anel aromático (VALANCIENE *et al.*, 2020). Nesse grupo, os compostos são formados por duas estruturas de carbono e se dividem em duas famílias, os ácidos hidroxicinâmico ou cinâmico e hidroxibenzoico ou benzoico, que têm grupos hidroxila em posições diferentes no anel aromático (GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020).

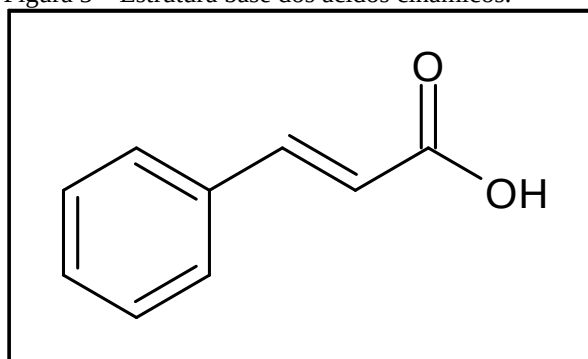
Os ácidos benzoicos possuem sete átomos de carbono (C6-C1) e são os mais simples encontrados na natureza, sendo os mais comuns os ácidos gálico, *p*-hidroxibenzoico, vanílico, serínico, protocatecuico e elágico. Já os ácidos cinâmicos dispõem de nove átomos de carbono (C6-C3) e são os mais comumente encontrados no reino vegetal, sendo os mais conhecidos os ácidos *p*-cumárico, cafeico, ferúlico, sináptico e clorogênico (MELINI; MELINI; ACQUISTUCCI, 2020; SANCHEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021; SOARES, 2002). Nas Figuras 4 e 5 são ilustradas as estruturas básicas dos ácidos benzoicos e cinâmicos, respectivamente.

Figura 4 – Estrutura base dos ácidos benzoicos.



Fonte: elaborada pela autora (Referência: NCBI, 2021).

Figura 5 – Estrutura base dos ácidos cinâmicos.

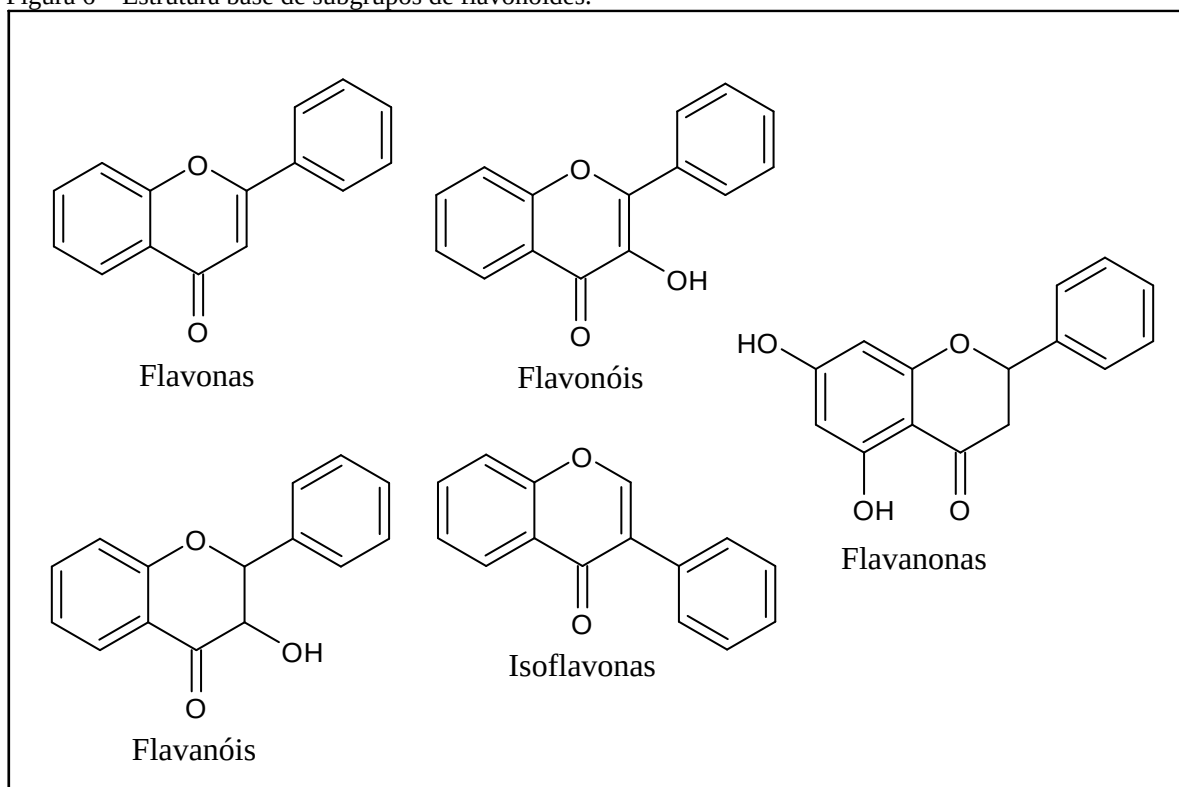


Fonte: elaborada pela autora (Referência: UNIIQUIM, 2021).

Os flavonoides compõem o maior grupo de fenólicos vegetais, sendo responsáveis por mais da metade dos oito mil compostos fenólicos naturais (TSAO, 2010). Possuem baixo peso molecular, consistindo em quinze átomos de carbono (C6-C3-C6); fundamentalmente, a estrutura consiste em dois anéis aromáticos A e B, unidos por uma ponte de 3 carbonos, geralmente na forma de um anel heterocíclico. O anel aromático A é derivado da via acetato/malonato, enquanto o anel B é derivado da fenilalanina pela via shiquimato (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021; SOARES, 2002).

Dentre os flavonoides, encontram-se diversas classes de compostos fenólicos, a citar, flavonóis, flavonas, flavanonas, flavanóis (ou catequinas), isoflavonas, e antocianinas (FIGURA 4), as quais resultam das variações nos padrões de substituição do anel C (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021; GÓMEZ-MAQUEO; ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2020; HOLLMAN; KATAN, 1999; SANCHEZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021). As substituições nos anéis A e B dão origem aos diferentes compostos dentro de cada classe de flavonoides (PIETTA, 2000). Essas substituições podem incluir oxigenação, alquilação, glicosilação, acilação e sulfatação (HOLLMAN; KATAN, 1999). Na Figura 6, são ilustrados subgrupos de flavonoides.

Figura 6 – Estrutura base de subgrupos de flavonoides.



Fonte: adaptada de Bhatla e Lal, 2018.

Os flavonóis são os flavonoides mais comuns nos alimentos, são encontrados em altas quantidades em alho-poró, brócolis, couve e cebola, e seus principais representantes são a miricetina, o caempferol e a quercetina. Estes compostos são encontrados em abundância, na sua forma glicosilada com alguns açúcares simples, em chás e no vinho tinto (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021).

As flavonas são glicosídeos de apigenina e luteolina e estão presentes em menores concentrações em frutas e vegetais quando comparada aos flavonóis (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021). Alguns alimentos ricos nesses fitoquímicos são camomila, salsa, aipo, repolho, cenoura e brotos de trigo (KU *et al.*, 2020; THILAKARATHNA; RUPASINGHE, 2013).

As flavanonas são os principais flavonoides dos cítricos, sendo encontrados como hesperitina em laranjas, eriodictiol em limões e agliconas naringenina na toranja (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021). Também são responsáveis pelo sabor amargo em sucos e cascas cítricas (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016).

Os flavanóis (proantocianidinas e catequinas): as catequinas são encontradas naturalmente em bebidas como vinho tinto, sucos de frutas, chocolate e chá verde; já as proantocianidinas ou taninos condensados têm como suas principais fontes frutas, incluindo

maçãs, uvas, peras e kiwis, mas podem ser encontradas também em alimentos como chá e cacau (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021).

As isoflavonas são um subgrupo de flavonoides que existe como fitoestrogênios. A principal fonte desses compostos são as leguminosas da família *Fabaceae*, especialmente a soja como fonte de daidzeína, genisteína e gliciteína. O grão de bico e feijão também são fontes dietéticas de isoflavonas, além disso pequenas quantidades estão contidas em outros produtos vegetais, como frutas, vegetais e nozes (KŘÍŽOVÁ *et al.*, 2019).

As antocianinas são produto da degradação do íon flavílio e são o subgrupo mais comumente estudado (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021). São pigmentos naturais das plantas e exibem cor azul, roxa ou vermelha. Esses compostos estão presentes em frutas roxas, maçãs, cerejas, uvas vermelhas e roxas, romãs, vinho tinto, repolho, cebola e rabanete (THILAKARATHNA; RUPASINGHE, 2013).

Os compostos fenólicos estão presentes em cascas, sementes e polpa de frutas, em hortaliças ou em folhas e talos de inúmeras fontes naturais, como as ervas, além de serem encontrados em chá, vinho, café e produtos derivados de alga (ÁVILA-ROMÁN *et al.*, 2021; ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021; GRANATO; NUNES, 2016). O teor e a diversidade dos compostos fenólicos presentes em um dado material podem variar significativamente, de acordo com muitos fatores, como região de origem, clima, quantidade de luz e água, estado nutricional e patogênese da planta, natureza e composição química do solo, entre outros (GRANATO; NUNES, 2016).

Tem-se conhecimento de diversas propriedades dos compostos fenólicos, como: atividade antioxidante; eliminação de espécies reativas de oxigênio; redução ou quelação de íons de metais; restauração de enzimas antioxidantes; diferentes efeitos a nível molecular, incluindo a modulação de receptores nucleares, miRNAs e atividade enzimática; modificações epigenéticas, afetando diferentes vias de sinalização; ação anti-inflamatória, antibacteriana, analgésica e antialérgica; inibição de enzimas relacionadas a distúrbios metabólicos, como diabetes tipo 2 e obesidade (ÁVILA-ROMÁN *et al.*, 2021; DE CAMARGO *et al.*, 2018; VALANCIENE *et al.*, 2020).

Na literatura já foram apontados diversos mecanismos para explicar a atividade antioxidante dos polifenóis. A eliminação de radicais livres desses compostos está relacionada tanto à transferência de elétron único quanto à de átomo de hidrogênio. A quelação de íons metálicos também está inclusa nos seus mecanismos de ação. O número e a posição dos grupos hidroxilas desses fitoquímicos são extremamente relevantes para o seu potencial antioxidante (DE CAMARGO *et al.*, 2018).

Os polifenóis também apresentam diversos mecanismos de ação para efeitos anticarcinogênicos. Briguglio *et al.* (2020) apontam alguns desses mecanismos, incluindo modulação da sinalização do ciclo celular, remoção de agentes anticâncer, atividade de enzimas antioxidantes, apoptose e parada do ciclo celular.

Os compostos fenólicos também apresentam efeitos inibitórios sobre a α -amilase e α -glucosidase. Esses efeitos estão associados a: ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas desses fitoquímicos e os resíduos catalíticos da enzima; complexos amido-polifenol formados a partir de interações hidrofóbicas e ligações covalentes, suprimindo a digestão do amido no trato gastrointestinal; ligação de polifenóis ao sítio ativo de dipeptil peptidase IV, alterando sua conformação e bloqueando sua atividade, regulando de forma indireta as concentrações de glicose no sangue (WU *et al.*, 2021).

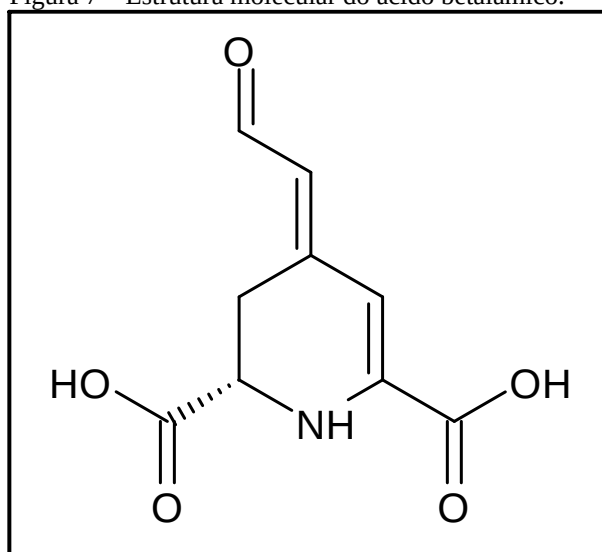
No estudo de Annunziata *et al.* (2021), são levantadas diversas pesquisas abordando os efeitos neuroprotetores dos polifenóis. Alguns mecanismos relatados nesse trabalho são: inibição de enzimas, como da monoamina oxidase A ou B; inativação de NF- κ B; modulação da proteína quinase ativada por mitogênio (MAPk); inibição de fosfatidilinosítídeo 3-quinase/proteína quinase B (PI3K/AkT); supressão do receptor do tipo toll (TLR); expressão gênica pró-inflamatória; entre outros.

Diante de tantas propriedades, diversos estudos apoiam fortemente o papel dos polifenóis na redução do risco de doenças como cânceres, doenças cardiovasculares, doenças neurodegenerativas, Alzheimer e diabetes. Os polifenóis também são atrativos para os setores industriais, em aplicações alimentícias, por exemplo, em que sua adição pode atrasar reações de degradação, mantendo a qualidade nutricional e estendendo a vida útil dos produtos (ANNEGOWDA *et al.*, 2011; ÁVILA-ROMÁN *et al.*, 2021; DE CAMARGO *et al.*, 2018; GODOS *et al.*, 2017; TSAO, 2010; VALANCIENE *et al.*, 2020).

3.2 Betalaínas

As betalaínas são alcaloides solúveis em água com ocorrência restrita a um número de famílias da ordem Caryophyllales e certos fungos (CELLI; BROOKS, 2017). Esses pigmentos estão localizados no vacúolo e são derivados da tirosina, sendo sintetizados a partir da estrutura do núcleo nitrogenado ácido betalâmico (FIGURA 7) (XIE *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021).

Figura 7 – Estrutura molecular do ácido betalâmico.



Fonte: elaborada pela autora (Referência: POLTURAK; AHARONI, 2018).

Conforme as características estruturais e as propriedades espectrais, são divididos em dois grupos principais, betacianinas e betaxantinas. Quando o ácido betalâmico se condensa com derivados do ciclo-DOPA, formam-se compostos pertencentes ao primeiro grupo; a conjugação do ácido betalâmico com aminoácidos ou com derivados destes, por sua vez, resulta em moléculas do segundo grupo (POLTURAK; AHARONI, 2018; TOSSI *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2021).

As betacianinas possuem coloração que varia de vermelho a violeta, exibindo um máximo de absorção em aproximadamente 535-538 nm. Elas podem ser classificadas por suas estruturas químicas em quatro tipos: betanina, amarantina, gomfrenina e buganvilina. Já as betaxantinas apresentam coloração de amarelo a laranja, com a mais alta absorção entre 460-480 nm (KHAN; GIRIDHAR, 2015; KUSZNIEREWICZ *et al.*, 2021; STINTZING; CARLE, 2004).

As betalaínas geralmente são nomeadas após as espécies das quais foram isoladas pela primeira vez (POLTURAK; AHARONI, 2018). Foram identificadas em torno de 75 estruturas de betalaínas a partir de 17 famílias de plantas diferentes sob a ordem Caryophyllales (KHAN; GIRIDHAR, 2015). Algumas estruturas conhecidas e estudadas são a betanina, isobetanina, amarantina, vulgaxantina I e II, indicaxantina, gomfrenina, portulacaxantina I, II e III, bougainvillein-r-I, miraxantina I, II, III e IV (BASTOS; GONÇALVES, 2018).

Na literatura são apontadas como fontes vegetais comestíveis de betalaínas as beterrabas vermelhas e amarelas (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*), a acelga colorida (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla*), os grãos ou folhas de amaranto (*Amaranthus* sp.) e os frutos de cactos, como os dos

gêneros *Opuntia* e *Hylocereus*. Dessas beterrabas, a mais explorada para obtenção dos pigmentos é a beterraba vermelha, a qual possui dois pigmentos solúveis: betanina (vermelha) e vulgaxantina I (amarela) (AZEREDO, 2009; KUMAR; CHAUHAN; GIRIDHAR, 2020).

Em geral, o teor de betacianinas e betaxantinas em beterrabas vermelhas varia entre 0,04 - 0,21% e 0,02 - 0,14%, respectivamente, dependendo da cultivar. As principais betacianinas presentes são a betanina e a isobetanina. Embora esse vegetal seja a fonte mais explorada, ele apresenta algumas limitações, destacando-se o alto nível de nitrato e cheiro desagradável de terra causado pela presença de derivados pirazínicos e geosmina (SAWICKI *et al.*, 2019; WINSON *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021).

Já as beterrabas amarelas, conhecidas como douradas, são menos exploradas comercialmente do que as variedades vermelhas. No entanto, possuem aroma característico de terra menos evidente. Seu maior potencial de uso é o fornecimento de betaxantinas para a composição de misturas com betacianinas de beterraba vermelha, aumentando a gama de cores para aplicação (GONÇALVES *et al.*, 2015).

Conhecida como beterraba branca, a acelga de talo (*Beta vulgaris* var. *cicla*) é pigmentada por betalaínas, e os talos (estipes) dos exemplares do cultivar Bright Lights são encontrados nas cores amarelo, laranja, vermelho e violeta. Foram identificadas 19 betaxantinas desse cultivar em análise por RP-HPLC/MS (KUGLER; STINTZING; CARLE, 2004).

O gênero *Amaranthus* apresenta potencial como fonte de corantes alimentares (CELLI; BROOKS, 2017). Alguns genótipos produzem bastante biomassa e contêm grande quantidade de betalaínas (CAI; SUN; CORKE, 2005), entretanto apresenta o inconveniente de conter saponinas triterpênicas em sua composição, podendo conferir aspectos negativos na palatabilidade (CELLI; BROOKS, 2017). As principais betacianinas encontradas em amaranto são amarantina e isoamarantina (LI *et al.*, 2015).

Frutos de cactos como a pera espinhosa e a pitaia mostram-se mais promissoras como fontes comestíveis de betalaínas. Espécies de *Opuntia* spp. e *Hylocereus* spp. oferecem inúmeras vantagens, como a possibilidade de obtenção de corantes hidrofílicos amarelos, a possibilidade de cultivo em regiões áridas e semiáridas, a ausência de geosmina e os baixos níveis de nitrato (GONÇALVES *et al.*, 2015).

O gênero *Opuntia* comporta cerca de 1.500 espécies de cactos, encontradas principalmente na África, nos países mediterrâneos, no sudoeste dos Estados Unidos e no norte do México (CHAHDOURA *et al.*, 2019). Flores amarelas e frutos vermelhos são característicos desse gênero, sendo a *Opuntia ficus-indica* a fruta mais difundida e investigada (BETANCOURT *et al.*, 2017; MELGAR *et al.*, 2017). As espécies de *Opuntia* apresentam uma

característica vantajosa, pois são capazes de crescer em quase todos os climas, a exemplo, áridos, temperados e tropicais (ARUWA; AMOO; KUDANGA, 2018; CHAHDOURA *et al.*, 2019). A indicaxantina é o principal pigmento das frutas de *Opuntia* (GUERRERO-RUBIO *et al.*, 2019).

Até o momento são conhecidas 14 espécies do gênero *Hylocereus* (AL-MEKHLAF *et al.*, 2021). São cactos herbáceos trepadores perenes, encontrados principalmente em regiões subtropicais e tropicais, com alta tolerância à seca. Atualmente, cinco espécies de *Hylocereus* representam maiormente esse gênero, elas são diferenciadas essencialmente pelas características de seus frutos: *H. undatus*, caracteriza-se por frutos de polpa branca e casca rosa; *H. polyrhizus* tem frutos de polpa vermelha e casca rosa; *H. costaricensis* apresenta polpa vermelho-violeta e casca rosa; *H. guatemalensis* possui polpa vermelha com casca laranja-avermelhada; e *H. megalanthus* tem polpa branca e pele amarela. Algumas betaninas encontradas em espécies de *Hylocereus* são a isobetanina, a filocactina e a hilocerenina (ARIVALAGAN *et al.*, 2021).

As betalaínas representam uma classe interessante de fitoquímicos com desempenho de propriedades funcionais importantes para a saúde humana (GENGATHARAN *et al.*, 2015; KLUGE; PRECZENHAK, 2016; WU *et al.*, 2006). Dentre elas, esses compostos apresentam atividades antioxidante, ansiolítica, anticâncer e antimicrobiana; atuam na inibição da peroxidação lipídica; aumentam a resistência à oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL); apresentam efeitos quimiopreventivos e protetores do DNA (GENGATHARAN *et al.*, 2015; KLUGE; PRECZENHAK, 2016; WU *et al.*, 2006; XIE *et al.*, 2020).

A ação antioxidante das betalaínas se manifesta de várias formas: na eliminação de radicais sintéticos, a exemplo o ABTS, e de biológicos, como o OH; atuam diretamente ativando mecanismos de defesa de enzimas antioxidantes através da indução de fatores de transcrição, como o fator nuclear eritroide 2 relacionado ao fator 2 (Nrf2); tem capacidade de agir protetoramente contra a lipoperoxidação; exercem proteção contra a radiação gama pela ativação das enzimas SOD, CAT e GST (CARRÉON-HIDALGO *et al.*, 2022).

No estudo de Moreno-Ley *et al.* (2021), são apontados diversos mecanismos para os efeitos anti-inflamatórios das betalaínas. Diminuição de agentes inflamatórios, COX-1 e iNOS; inibição da ICAM-1, COX-1, COX-2, LOX e hialuronidase são alguns exemplos citados no trabalho. Ahmadi *et al.* (2020), ao usarem tratamento com betanina, conseguiram diminuir a IL-6, o fator TNF- α e as espécies reativas de oxigênio e nitrogênio.

Já Tan *et al.* (2015) utilizaram a betanina como pré-tratamento e observaram redução de inflamação em rins de ratos com danos provocados por paraquat, além da diminuição da

peroxidação lipídica e as atividades das enzimas iNOS e COX-2. Os autores verificaram ainda ativação do fator de transcrição NF- κ B. A indicaxantina foi estudada por Attanzio et al., (2019), e foi relatada com efeito protetor nas células do cordão umbilical humano induzidas com disfunção endotelial, dificultando a transcrição de NF- κ B e reduzindo as glicoproteínas.

El Gamal et al. (2014) estudaram um modelo induzido por gentamicina em ratos. Com a aplicação de extrato etanólico de beterraba houve diminuição de citocinas inflamatórias renais (TNF- α e IL-6), de expressão de proteína nuclear de NF- κ B (p65), de atividade de ligação de NF- κ B-DNA, de atividade de mieloperoxidase e de níveis de óxido nítrico. Também houve regulação negativa da expressão de atividades de ligação de NF- κ B e NF- κ B-DNA e citocinas pró-inflamatórias.

Atividade antimicrobiana também tem sido relatada para as betalaínas. No estudo de Yong et al. (2017), extratos de pitatia vermelha e folhas de espinafre exibiram atividade antimicrobiana tanto contra bactérias Gram-negativas como Gram-positivas. Melgar et al. (2017) estudaram extratos de *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia engelmannii*, e relataram atividade antimicrobiana e antifúngica.

Gómez-Maqueo et al. (2019) alegaram que a indicaxantina purificada de *Opuntia ficus-indica* possui ação anti-hiperglicêmica, inibindo a atividade da α -amilase (98%) e α -glicosidase (88,3%). Rivera et al. (2020) combinaram betanina e *Lactobacillus nagelii* e testaram seus efeitos em camundongos. A mistura promoveu atividade hipoglicêmica maior do que qualquer um dos dois isolados. A betanina tanto misturada quanto isolada, elevou a concentração de insulina no plasma. Foi observado ainda, atividade antilipidêmica e redução de triglicerídeos, colesterol ou peso corporal em camundongos normais e diabéticos.

Atividade antiviral também já foi relatada para as betalaínas. No estudo de Chang et al. (2020), relataram que betacianinas manifestou inibição de placa do vírus da dengue tipo 2 em células renais de macaco verde africano. Os pesquisadores acreditam que provavelmente as betacianinas se liguem à proteína E do envelope do vírus, anulando a infectividade ao interferir na ligação do vírus ao hospedeiro.

A diversidade de propriedades apresentada pelas betalaínas proporcionou inúmeros benefícios, como redução de riscos de desenvolvimento de muitas doenças e até mesmo auxílio no tratamento de problemas de saúde já desenvolvidos, como estenose das artérias, aterosclerose, hipertensão, câncer, obesidade, transtornos psiquiátricos relacionados ao estresse, distúrbios neurológicos, como a doença de Alzheimer, entre outros (ARIVALAGAN et al., 2021; KUSZNIEREWICZ et al., 2021; LIRA et al., 2020).

4 TÉCNICAS VERDES DE EXTRAÇÃO

Técnicas convencionais, como extração por Soxhlet, maceração e hidrodestilação, são muito utilizadas para a extração de compostos de interesse de materiais vegetais, entretanto muitas são as suas limitações, como longo tempo de extração, exigência de solventes puros e caros, e danos aos compostos termolábeis, entre outros. Assim, pesquisadores estão sendo estimulados a estudarem as técnicas de extração mais favoráveis (SHARAYEI *et al.*, 2019).

Métodos alternativos de extração estão em desenvolvimento e uso para diversos fins; dentre essas técnicas têm-se a extração assistida por micro-ondas (EAM), extração de campo elétrico pulsado (ECEP), extração com solvente acelerado (ESA), extração de fluido supercrítico (EFS), extração de fluido pressurizado (EFP) e extração assistida por ultrassom (EAU) (ARMENTA *et al.*, 2019; BENMEZIANE *et al.*, 2018; FERRERES *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2016).

A aplicação de processos como micro-ondas, ultrassom, agitação mecânica, bolhas de ar e potencial elétrico para realizar as etapas de extração pode acelerá-la, melhorar a separação analito/matriz e a separação de fases, simplificando a obtenção dos extratos. Entretanto, deve-se levar em consideração também que a cavitação, um potencial elétrico ou um excesso de irradiação por micro-ondas pode provocar degradação dos analitos alvo, bem como modificações na sua composição. Dessa maneira, deve-se balancear apropriadamente aspectos negativos e positivos das operações mencionadas para a melhoria do método (ARMENTA *et al.*, 2019).

As micro-ondas pertencem às técnicas de alta energia, as quais são formas rápidas e não convencionais de fornecimento de energia a um sistema químico. Proporcionam e melhoram a extração de componentes bioativos lábeis, como carotenoides e fenóis. Essas técnicas estão conquistando bastante espaço na pesquisa de obtenção destas substâncias, em virtude de suas vantagens diante dos métodos convencionais (TSIAKA *et al.*, 2015).

4.1 Extração assistida por micro-ondas (EAM)

A extração assistida por micro-ondas (EAM) é uma tecnologia sustentável e inovadora com alta reprodutibilidade em menor tempo, de manipulação simplificada, com consumo reduzido de solvente e de energia sem diminuição do rendimento de extração das substâncias de interesse. Em razão disso, essa extração mostra-se como um método efetivo para a liberação

de componentes bioativos a partir de subprodutos alimentares (ARAÚJO *et al.*, 2021; CARDOSO-UGARTE *et al.*, 2014; FERRERES *et al.*, 2017; FIGUEROA *et al.*, 2021; GOLBARGI *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2013; THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2017).

Na EAM, um campo eletromagnético é aplicado diretamente na amostra, provocando uma maior degradação celular e, conseqüentemente, a liberação de substâncias para o solvente em condições de extração mais brandas, minimizando a perda de compostos sensíveis (FIGUEROA *et al.*, 2021). A energia das micro-ondas é fornecida através de interações de componentes polares para gerar calor por conversões eletromagnéticas em energia térmica (PIMENTEL-MORAL *et al.*, 2018). Esse aquecimento induzido pelo campo elétrico é explicado por dois efeitos físicos simultâneos: a condução iônica e a rotação dipolar (NABET *et al.*, 2019).

Na condução iônica, ocorre uma migração de espécies de carga, como íons, em decorrência do efeito do campo elétrico induzido por micro-ondas. Já na rotação dipolar, moléculas dipolares, como a água, tentam se alinhar com o campo elétrico alternado de micro-ondas. Em ambos os casos, é gerado um “atrito” entre as moléculas em movimento e o meio, o que potencializa a extração (PLAZZOTTA *et al.*, 2020). Esses efeitos também favorecem a liberação de compostos bioativos por aumentarem a pressão interna da célula. Tal pressão, por sua vez, é causada pelo aquecimento da umidade no interior das células, levando a um melhoramento da porosidade ou a uma destruição da parede celular, liberando maior quantidade de compostos (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Os parâmetros mais importantes envolvidos nesse tipo de extração são a constante dielétrica e o fator de dissipação, os quais estabelecem a quantidade de energia que é refletida na interface ar-amostra e a quantidade que interage com a amostra. Isto posto, torna-se necessário selecionar um solvente com alto poder de extração e com forte interação com a matriz e os compostos bioativos alvo; exemplos destes são o etanol, o metanol e a água, que possuem a capacidade de absorver energia de micro-ondas devido à sua alta constante dielétrica e perda dielétrica (PIMENTEL-MORAL *et al.*, 2018). Outros fatores importantes no procedimento de EAM são temperatura e tempo de extração, tipo de solvente, relação sólido/solvente, potência de micro-ondas, características da matriz em termos de tamanho de partícula, área de superfície de contato e teor de água (PANZELLA *et al.*, 2020; PIMENTEL-MORAL *et al.*, 2018).

Geralmente, o desempenho da EAM varia de acordo com o modo operacional de aquecimento, considerando, por exemplo, a energia (potência) constante, a energia (potência)

intermitente e a temperatura constante. Com relação à EAM de potência constante, há o fornecimento de aquecimento persistente com potência específica para o sistema de extração, utilizado comumente para extrair compostos ativos termicamente estáveis; à EAM de potência intermitente, ocorre o fornecimento do aquecimento por micro-ondas pulsado a certa potência, tendo aplicação satisfatória na extração de compostos termolábeis; e, por último, à EAM de temperatura constante, existe o controle da temperatura de extração, o que permite a extração de compostos ativos altamente degradáveis (CHAN *et al.*, 2015).

A EAM é uma tecnologia que tem sido bastante utilizada por apresentar inúmeras vantagens em relação a outras técnicas. Araújo *et al.* (2020) estudaram a otimização de EAM para obtenção de moléculas bioativas de caroço de abacate, verificando que a EAM é uma ferramenta verde eficiente para a extração dos compostos desejados no estudo. Os autores apontaram ainda que a técnica se sobressaiu aos métodos relatados anteriormente.

Baltacıoğlu *et al.* (2021) otimizaram EAM de compostos fenólicos de tomate e compararam com a extração convencional por solvente (ECS). Os autores obtiveram resultados melhores para amostras tratadas com EAM, indicando esta técnica como alternativa ao método convencional estudado. Foi verificado conteúdo fenólico total obtido através da ECS de 351,31 mg EAG.kg⁻¹ de material fresco e inibição do DPPH de 27,12% a 60 °C por 30 minutos, enquanto para EAM o teor de fenólicos foi de 436,20 mg EAG.kg⁻¹ de material fresco e inibição do DPPH de 39,15% a 900 W por 90 segundos.

Buratto, Cocero e Martín (2021) utilizaram EAM e EAM pressurizado (EAMP) como pré-tratamentos para melhorar o rendimento de compostos funcionais de subprodutos industriais de açaí. Com 30 minutos de EAM, os fenólicos presentes na pasta aumentaram de 370 mg EAG.100 g⁻¹ para 614 mg EAG.100 g⁻¹; na polpa, o teor passou de 3,61 g EAG.100 g⁻¹ para 5,82 g EAG.100 g⁻¹; e nas sementes, aumentou de 6,24 g EAG.100 g⁻¹ para 7,82 g EAG.100 g⁻¹. Já a EAMP permitiu atingir valores de fenólicos ainda mais elevados, chegando, após a aplicação de pressão de 1,5 bar e a potência de 300 W, ao valor máximo foi de 424 mg EAG.100 g⁻¹ para extração da pasta; 8,33 g EAG.100 g⁻¹ e 8,83 g EAG.100 g⁻¹ para sementes e para polpa, respectivamente.

Mellinas, Jiménez e Garrigós (2020) estudaram a otimização da EAM de cascas de cacau. Os autores verificaram que a EAM mostrou resultados melhores em relação à ECS, concluindo que a EAM é uma técnica eficiente para a liberação de moléculas bioativas da casca do cacau com desempenho antioxidante. Em condições ótimas de extração para a EAM, a saber, 5 minutos, pH 12, 97 °C e 0,04 g.mL⁻¹, obtiveram-se valores de 35,9 mg EAG.g⁻¹ para fenólicos totais, 35,5 e 33,6 mg ET.g⁻¹ para FRAP e ABTS, nessa ordem. Enquanto para a ECS,

verificaram a presença de 22,1 mg EAG.g⁻¹, 16,0 e 22,2 mg ET.g⁻¹ para fenólicos, FRAP e ABTS, respectivamente, sendo a extração feita com 0,045 g.mL⁻¹ a 100 °C por 90 minutos.

Sanchez-Reinoso *et al.* (2020) otimizaram EAM de compostos fenólicos de casca de Sacha Inchi. Os autores obtiveram resultados satisfatórios em seus experimentos, com potência de 1.500 W, com concentração de etanol de 60% e com tempo de extração de 120 segundos, o conteúdo fenólico total alcançado foi de 42,68 mg EAG.g⁻¹ de casca e atividades antioxidantes de 385,39 e 383,41 µmol Trolox.g⁻¹ de casca para FRAP e TEAC, respectivamente.

REFERÊNCIAS

AHMADI, H.; NAYERI, Z.; MINUCHEHR, Z.; SABOUNI, F.; MOHAMMADI, M. Betanin purification from red beetroots and evaluation of its anti-oxidant and anti-inflammatory activity on LPS-activated microglial cells. **Plos one**, v. 15, n. 5, p. e0233088, 2020.

ALARA, O. R.; ABDURAHMAN, N. H.; UKAEGBU, C. I. Extraction of phenolic compounds: A review. **Current Research in Food Science**, s/v, s/n, s/p, 2021.

AL-MEKHLAFI, N. A.; MEDIANI, A.; ISMAIL, N. H.; ABAS, F.; DYMERSKI, T.; LUBINSKA-SZCZYGEŁ, M.; VEARASILP, S.; GORINSTEIN, S. Metabolomic and antioxidant properties of different varieties and origins of Dragon fruit. **Microchemical Journal**, v. 160, s/n, p. 105687, 2021.

ALVES, A. C. B.; MONTEIRO, L. B.; POMPEU, D. R. Otimização da extração sólido-líquido de compostos fenólicos totais e betalaínas da casca de frutos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 12, n. 1, p. 2556-2577, 2018.

ANDRADE, R. A. de; MARTINS, A. B. G; SILVA, M. T. H. Influência da fonte material e do tempo de cura na propagação vegetativa da pitaya vermelha (*Hylocereus undatus* Haw). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 183-186, 2007.

ANNEGOWDA, H. V.; BHAT, R.; MIN-TZE, L.; KARIM, A. A.; MANSOR, S. M. Influence of sonication treatments and extraction solvents on the phenolics and antioxidants in star fruits. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n.4, p. 510-514, 2012.

ANNUNZIATA, G.; SUREDA, A.; ORHAN, I. E.; BATTINO, M.; ARNONE, A.; JIMÉNEZ-GARCÍA, M.; CAPÓ, X.; CABOT, J.; SANADGOL, N.; GIAMPIERI, F.; TENORE, G. C.; KASHANI, H. R.K.; SILVA, A. S.; HABTEMARIAM, S.; NABAVI, S. F.; NABAVI, S. M. The neuroprotective effects of polyphenols, their role in innate immunity and the interplay with the microbiota. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews**, v. 128, s/n, p. 437-453, 2021.

ARAÚJO, R. G.; RODRIGUEZ-JASSO, R. M.; RUIZ, H. A.; GOVEA-SALAS, M.; PINTADO, M. E.; AGUILAR, C. N. Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 154, s/n, p. 112623, 2020.

- ARAÚJO, R. G.; RODRÍGUEZ-JASSO, R. M.; RUÍZ, H. A.; GOVEA-SALAS, M.; PINTADO, M.; AGUILAR, C. N. Recovery of bioactive components from avocado peels using microwave-assisted extraction. **Food and Bioproducts Processing**, v. 127, s/n, p. 152-161, 2021.
- ARIVALAGAN, M.; KARUNAKARAN, G.; ROY, T. K.; DINSHA, M.; SINDHU, B. C.; SHILPASHREE, V. M.; SATISHA, G. C.; SHIVASHANKARA, K. S. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). **Food Chemistry**, v. 353, s/n, p. 129426, 2021.
- ARMENTA, S.; GARRIGUES, S.; ESTEVE-TURRILLAS, F. A.; DE LA GUARDIA, M. Green extraction techniques in green analytical chemistry. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 116, s/n, p. 248-253, 2019.
- ARUWA, C. E.; AMOO, S. O.; KUDANGA, T. *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects—A comprehensive review. **Food Research International**, v. 112, s/n, p. 328-344, 2018.
- ATTANZIO, A.; FRAZZITTA, A.; BUSA, R.; TESORIERE, L.; LIVREA, M. A.; ALLEGRA, M. Indicaxanthin from *Opuntia ficus indica* (L. Mill) inhibits oxidized LDL-mediated human endothelial cell dysfunction through inhibition of NFκB activation. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2019, s/n, s/p, 2019.
- ÁVILA-ROMÁN, J.; SOLIZ-RUEDA, J. R.; BRAVO, F. I.; ARAGONÈS, G.; SUÁREZ, M.; AROLA-ARNAL, A.; MULERO, M.; SALVADÓ, M.-J.; AROLA, L.; TORRES-FUENTES, C.; MUGUERZA, B. Phenolic compounds and biological rhythms: Who takes the lead?. **Trends in Food Science & Technology**, s/v, s/n, s/p, 2021.
- AZEREDO, H. M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability—a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, n. 12, p. 2365-2376, 2009.
- BALANGE, A. K.; BENJAKUL, S. Effect of oxidised phenolic compounds on the gel property of mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) surimi. **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, n. 6, p. 1059-1064, 2009.
- BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 191-203, 2006.
- BALTACIOĞLU, H.; BALTACIOĞLU, C.; OKUR, I.; TANRIVERMIŞ, A.; YALIÇ, M. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. **Vibrational Spectroscopy**, v. 113, s/n, p. 103204, 2021.
- BANOŽIĆ, M.; BABIĆ, J.; JOKIĆ, S. Recent advances in extraction of bioactive compounds from tobacco industrial waste—a review. **Industrial Crops and Products**, v. 144, s/n, p. 112009, 2020.
- BASTOS, E. L.; GONÇALVES, L. C. P. Microwave-Assisted Extraction of Betalains. In: GONZÁLEZ, H. D.; MUÑOZ, M. J. G. **Water Extraction of Bioactive Compounds: From**

Plants to Drug Development. Elsevier, 2018. p. 245-268. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128093801/water-extraction-of-bioactive-compounds#book-description>. Acesso em: 16 fev. 2020.

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

BENMEZIANE, A.; BOULEKBACHE-MAKHOLOUF, L.; MAPELLI-BRAHM, P.; KHODJA, N. K.; REMINI, H.; MADANI, K.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Extraction of carotenoids from cantaloupe waste and determination of its mineral composition. **Food Research International**, v. 111, s/n, p. 391-398, 2018.

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, s/n, p. 173-179, 2017.

BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Springer, 2018.

BHUSHAN, I.; SHARMA, M.; MEHTA, M.; BADYAL, S.; SHARMA, V.; SHARMA, I.; SINGH, H.; SISTLA, S. Bioactive compounds and probiotics—a ray of hope in COVID-19 management. **Food Science and Human Wellness**, v. 10, n. 2, p. 131-140, 2021.

BRIGUGLIO, G.; COSTA, C.; POLLICINO, M.; GIAMBÒ, F.; CATANIA, S.; FENGA, C. Polyphenols in cancer prevention: New insights. **International Journal of Functional Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 1-1, 2020.

BUENO, R. S.; RESSUTTE, J. B.; HATA, N. N.; HENRIQUE-BANA, F. C.; GUERGOLETTI, K. B.; de OLIVEIRA, A. G.; SPINOSA, W. A. Quality and shelf life assessment of a new beverage produced from water kefir grains and red pitaya. **LWT-Food Science and Technology**, v. 140, s/n, p. 110770, 2021.

BURATTO, R. T.; COCERO, M. J.; MARTÍN, Á. Characterization of industrial açai pulp residues and valorization by microwave-assisted extraction. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 160, s/n, p. 108269, 2021.

CAI, Y-Z.; SUN, M.; CORKE, H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the *Amaranthaceae*. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, n. 9, p. 370-376, 2005.

CARDOSO-UGARTE, G. A.; SOSA-MORALES, M. E.; BALLARD, T.; LICEAGA, A.; SAN MARTÍN-GONZÁLEZ, M. F. Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 276-282, 2014.

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**, v. 151, s/n, p. 110821, 2021.

CARRERA, C.; PASTOL, J.; SETYANINGSIH, W.; RUIZ-RODRÍGUEZ, A.; FERREIRO-GONZÁLEZ, M.; FERNÁNDEZ BARBERO, G.; Palma, M. Optimization by Means of Chemometric Tools of an Ultrasound-Assisted Method for the Extraction of Betacyanins from Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1053, 2021.

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

CHAHDOURA, H.; BARREIRA, J. C.; BARROS, L.; DIAS, M. I.; CALHELHA, R. C.; FLAMINI, G.; SOKOVIĆ, M.; ACHOUR, L.; FERREIRA, I. C. Bioactivity, hydrophilic, lipophilic and volatile compounds in pulps and skins of *Opuntia macrorhiza* and *Opuntia microdasys* fruits. **LWT-Food Science and Technology**, v. 105, s/n, p. 57-65, 2019.

CHAN, C.H.; LIM, J. J.; YUSOFF, R.; NGOH, G. C. A generalized energy-based kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants. **Separation and Purification Technology**, v. 143, s/n, p. 152-160, 2015.

CHANG, Y. J.; PONG, L. Y.; HASSAN, S. S.; CHOO, W. S. Antiviral activity of betacyanins from red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and red spinach (*Amaranthus dubius*) against dengue virus type 2 (GenBank accession no. MH488959). **Access Microbiology**, v. 2, n. 1, s/p, 2020.

CHEW, Y. M.; HUNG, C-H.; KING, V. A-E. Accelerated storage test of betalains extracted from the peel of pitaya (*Hylocereus cacti*) fruit. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 3, p. 1595-1600, 2019.

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

COSTA, A. C.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. D. R.; DUARTE, M. H. Floração e frutificação em diferentes tipos de cladódios de pitaia-vermelha em Lavras-MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 279-284, 2014.

CUNHA, L. C. M; MONTEIRO, M. L. G.; COSTA-LIMA, B. R.; GUEDES-OLIVEIRA, J. M.; ALVES, V. H.; ALMEIDA, A. L.; TONON, R. V.; ROSENTHAL, R.; CONTE-JUNIOR, C. A. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on color, texture and oxidative stability of refrigerated ground pork patties submitted to high pressure processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 49, s/n, p. 136-145, 2018.

DE CAMARGO, A. C.; SCHWEMBER, A. R.; PARADA, R.; GARCIA, S.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; FRANCHIN, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SHAHIDI, F. Opinion on the hurdles and potential health benefits in value-added use of plant food processing by-products as sources of phenolic compounds. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 11, p. 3498, 2018.

DE LIMA, A. C. V.; DIONISIO, A. P.; de ABREU, F. A. P.; da SILVA, G. S.; JUNIOR, R. D. L.; MAGALHÃES, H. C. R.; GARRUTI, D. dos S.; ARAÚJO, I. M. da S.; ARTUR, A. G.; TANIGUCHI, C. A. K.; RODRIGUES, M. do C. P.; ZOCCOLO, G. J. Microfiltered red–purple pitaya colorant: UPLC-ESI-QTOF-MSE-based metabolic profile and its potential application as a natural food ingredient. **Food Chemistry**, v. 330, s/n, p. 127222, 2020.

EL GAMAL, A. A.; ALSAID, M. S.; RAISH, M.; AL-SOHAIBANI, M.; AL-MASSARANI, S. M.; AHMAD, A.; HEFNAWY, M.; AL-YAHYA, M.; BASOUDAN, O. A.; RAFATULLAH, S. Beetroot (*Beta vulgaris* L.) extract ameliorates gentamicin-induced nephrotoxicity associated oxidative stress, inflammation, and apoptosis in rodent model. **Mediators of inflammation**, v. 2014, s/n, s/p, 2014.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Phenolic compound profiles and their corresponding antioxidant capacity of purple pitaya (*Hylocereus* sp.) genotypes. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 62, n. 9-10, p. 636-644, 2007.

FAN, P.; HUBER, D. J.; SU, Z.; HU, M.; GAO, Z.; LI, M.; SHI, X.; ZHANG, Z. Effect of postharvest spray of apple polyphenols on the quality of fresh-cut red pitaya fruit during shelf life. **Food Chemistry**, v. 243, s/n, p. 19-25, 2018.

FATHORDOOBADY, F.; MANAP, M. Y.; SELAMAT, J.; SINGH, A. P. Development of supercritical fluid extraction for the recovery of betacyanins from red pitaya fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel: a source of natural red pigment with potential antioxidant properties. **International Food Research Journal**, v. 26, n. 3, p. 1023-1034, 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 by-products using microwave-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 230, s/n, p. 463-474, 2017.

FIGUEROA, J. G.; BORRÁS-LINARES, I.; DEL PINO-GARCÍA, R.; CURIEL, J. A.; LOZANO-SÁNCHEZ, J.; SEGURA-CARRETERO, A. Functional ingredient from avocado peel: Microwave-assisted extraction, characterization and potential applications for the food industry. **Food Chemistry**, v. 352, s/n, p. 129300, 2021.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 645-649, 2015.

GODOS, J.; SINATRA, D.; BLANCO, I.; MULÈ, S.; LA VERDE, M.; MARRANZANO, M. Association between dietary phenolic acids and hypertension in a mediterranean cohort. **Nutrients**, v. 9, n. 10, p. 1069, 2017.

GOLBARGI, F.; GHARIBZAHEDI, S. M. T.; ZOGHI, A.; MOHAMMADI, M.; HASHEMIFESHARAKI, R. Microwave-assisted extraction of arabinan-rich pectic polysaccharides from melon peels: Optimization, purification, bioactivity, and techno-functionality. **Carbohydrate Polymers**, v. 256, s/n, p. 117522, 2021.

GÓMEZ-MAQUEO, A.; ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; WELTI-CHANES, J. Phenolic Compounds in Mesoamerican Fruits—Characterization, Health Potential and Processing with

Innovative Technologies. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 21, p. 8357, 2020.

GÓMEZ-MAQUEO, A.; GARCÍA-CAYUELA, T.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, R.; WELTI-CHANES, J.; CANO, M. P. Inhibitory potential of prickly pears and their isolated bioactives against digestive enzymes linked to type 2 diabetes and inflammatory response. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 14, p. 6380-6391, 2019.

GONÇALVES, L. C. P.; MARCATO, A. C.; RODRIGUES, A. C. B.; PAGANO, A. P. E.; FREITAS, B. C.; MACHADO, C. D. O.; NAKASHIMA, K. K.; ESTEVES, L. C.; LOPES, N. B.; BASTOS, E. L. Betalaínas: Das cores das beterrabas à fluorescência das flores. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 292-309, 2015.

GRANATO, D.; NUNES, D. S. **Análises químicas, propriedades funcionais e controle da qualidade de alimentos e bebidas**: uma abordagem teórico-prática. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

GUERRERO-RUBIO, M. A.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, S.; GARCÍA-CARMONA, F.; GANDÍA-HERRERO, F. Extension of life-span using a RNAi model and in vivo antioxidant effect of *Opuntia* fruit extracts and pure betalains in *Caenorhabditis elegans*. **Food Chemistry**, v. 274, s/n, p. 840-847, 2019.

HOLLMAN, P. C. H.; KATAN, M. B. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability. **Food and Chemical Toxicology**, v. 37, n. 9-10, p. 937-942, 1999.

HUA, Q.; CHEN, C.; ZUR, N. T.; 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 and Biochemistry**, v. 126, s/n, p. 117-125, 2018.

KHAN, M. I.; GIRIDHAR, P. Plant betalains: Chemistry and biochemistry. **Phytochemistry**, v. 117, s/n, p. 267-295, 2015.

KLUGE, R. A.; PRECZENHAK, A. P. Betalaínas Em Beterraba Minimamente Processada: Perdas E Formas De Preservação. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 17, n. 2, p. 175-192, 2016.

KŘÍŽOVÁ, L.; DADÁKOVÁ, K.; KAŠPAROVSKÁ, J.; KAŠPAROVSKÝ, T. Isoflavones. **Molecules**, v. 24, n. 6, p. 1076, 2019.

KROYER, G. Th. Red clover extract as antioxidant active and functional food ingredient. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 5, n. 1, p. 101-105, 2004.

KU, Y. S.; NG, M. S.; CHENG, S. S.; LO, A. W. Y.; XIAO, Z.; SHIN, T. S.; CHUNG, G.; LAM, H. M. Understanding the composition, biosynthesis, accumulation and transport of flavonoids in crops for the promotion of crops as healthy sources of flavonoids for human consumption. **Nutrients**, v. 12, n. 6, p. 1717, 2020.

KUGLER, F.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Identification of betalains from petioles of differently colored Swiss chard (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* [L.] Alef. Cv. Bright Lights) by

high-performance liquid chromatography– electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 10, p. 2975-2981, 2004.

KUMAR, S. S.; CHAUHAN, A. S.; GIRIDHAR, P. Nanoliposomal encapsulation mediated enhancement of betalain stability: Characterisation, storage stability and antioxidant activity of *Basella rubra* L. fruits for its applications in vegan gummy candies. **Food Chemistry**, v. 333, s/n, p. 127442, 2020.

KUSZNIEREWICZ, B.; MRÓZ, M.; KOSS-MIKOŁAJCZYK, I.; NAMIEŚNIK, J. Comparative evaluation of different methods for determining phytochemicals and antioxidant activity in products containing betalains–verification of beetroot samples. **Food Chemistry**, s/v, s/n, p. 130132, 2021.

LI, H., DENG, Z.; LIU, R.; ZHU, H.; DRAVES, J.; MARCONE, M.; SUN, Y.; TSAO, R. Characterization of phenolics, betacyanins and antioxidant activities of the seed, leaf, sprout, flower and stalk extracts of three *Amaranthus* species. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 37, s/v, p. 75-81, 2015.

LI, X.; CHEN, F.; LI, S.; JIA, J.; GU, H.; YANG, L. An efficient homogenate-microwave-assisted extraction of flavonols and anthocyanins from blackcurrant marc: Optimization using combination of Plackett-Burman design and Box-Behnken design. **Industrial Crops and Products**, v. 94, s/n, p. 834-847, 2016.

LI, Y.; FABIANO-TIXIER, A. S.; VIAN, M. A.; CHEMAT, F. Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 47, s/n, p. 1-11, 2013.

LIMA, C. A. de; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. Diversidade genética intra e interespecífica de pitaya com base nas características físico-químicas de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1066-1072, 2013.

LIRA, S. M.; DIONÍSIO, A. P.; HOLANDA, M. O.; MARQUES, C. G.; DA SILVA, G. S.; CORREA, L. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; REBOUÇAS, E. de L.; GUEDES, J. A. C.; OLIVEIRA, D. F. de; GUEDES, M. I. F.; ZOCCOLO, G. J. Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose) by UPLC-QTOF-MSE and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish. **Food Research International**, v. 127, s/n, p. 108701, 2020.

LIU, C. X. Discovery and development of artemisinin and related compounds. **Chinese Herbal Medicines**, v. 9, n. 2, p. 101-114, 2017.

LÓPEZ-LINARES, J. C.; GARCÍA-CUBERO, M. T.; COCA, M.; LUCAS, S. A biorefinery approach for the valorization of spent coffee grounds to produce antioxidant compounds and biobutanol. **Biomass and Bioenergy**, v. 147, s/n, p. 106026, 2021.

MAINA, S.; KACHRIMANIDOU, V.; KOUTINAS, A. A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 8, s/n, p. 18-23, 2017.

MELGAR, B.; DIAS, M. I.; CIRIC, A.; SOKOVIC, M.; GARCIA-CASTELLO, E. M.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; BARROS, L.; FERREIRA, I. By-product recovery of *Opuntia* spp. peels: Betalainic and phenolic profiles and bioactive properties. **Industrial Crops and Products**, v. 107, s/n, p. 353-359, 2017.

MELGAR, B.; PEREIRA, E.; OLIVEIRA, M. B. P.; GARCIA-CASTELLO, E. M.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; SOKOVIC, M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. **Food Research International**, v. 101, s/n, p. 259-265, 2017.

MELINI, V.; MELINI, F.; ACQUISTUCCI, R. Phenolic compounds and bioaccessibility thereof in functional pasta. **Antioxidants**, v. 9, n. 4, p. 343, 2020.

MELLINAS, A. C.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Optimization of microwave-assisted extraction of cocoa bean shell waste and evaluation of its antioxidant, physicochemical and functional properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 127, s/n, p. 109361, 2020.

MORAIS, S. G. G.; BORGES, G. D. S. C.; dos SANTOS LIMA, M.; MARTÍN-BELLOSO, O.; MAGNANI, M. Effects of probiotics on the content and bioaccessibility of phenolic compounds in red pitaya pulp. **Food Research International**, v. 126, s/n, p. 108681, 2019.

MORENO-LEY, C.; OSORIO-REVILLA, G.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, D.; RAMOS-MONROY, O.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. Anti-inflammatory activity of betalains: A comprehensive review. **Human Nutrition & Metabolism**, v. 25, s/n, p. 200126, 2021.

NABET, N.; GILBERT-LÓPEZ, B.; MADANI, K.; HERRERO, M.; IBÁÑEZ, E.; MENDIOLA, J. A. Optimization of microwave-assisted extraction recovery of bioactive compounds from *Origanum glandulosum* and *Thymus fontanesii*. **Industrial Crops and Products**, v. 129, s/n, p. 395-404, 2019.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION – NCBI. **Benzoic acid**. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/243>. Acesso em: 29 mai. 2021.

NG, H. S.; KEE, P. E.; YIM, H. S.; CHEN, P. T.; WEI, Y. H.; LAN, J. C. W. Recent advances on the sustainable approaches for conversion and reutilization of food wastes to valuable bioproducts. **Bioresource Technology**, s/v, s/n, p. 122889, 2020.

NUNES, E. N.; de SOUSA, A. S. B.; de LUCENA, C. M.; SILVA, S. D. M.; de LUCENA, R. F. P.; ALVES, C. A. B.; ALVES, R. E. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. **Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, s/v, s/n, s/p, 2014.

OLIVEIRA, M. M. T. de. **Sombreamento na fisiologia, produção e qualidade e efeito da temperatura nos aspectos moleculares da pitiaia**. 2019. 119 f. Tese (Doutorado em Agronomia Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v. 5, s/n, s/p, 2016.

PANZELLA, L.; MOCCIA, F.; NASTI, R.; MARZORATI, S.; VEROTTA, L.; NAPOLITANO, A. Bioactive phenolic compounds from agri-food wastes: An update on green and sustainable extraction methodologies. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, s/n, s/p, 2020.

PARITOSH, K.; KUSHWAHA, S. K.; YADAV, M.; PAREEK, N.; CHAWADE, A.; VIVEKANAND, V. Food waste to energy: an overview of sustainable approaches for food waste management and nutrient recycling. **BioMed Research International**, v. 2017, s/n, s/p, 2017.

PÉREZ-LOREDO, M. G.; JESÚS, H. D.; BARRAGÁN-HUERTA, B. E Extracción de compuestos bioactivos de Pitaya Roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. **Agrociencia**, v. 51, n. 2, p. 135-151, 2017.

PIETTA, P. G. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000.

PIMENTEL-MORAL, S.; BORRÁS-LINARES, I.; LOZANO-SÁNCHEZ, J.; ARRÁEZ-ROMÁN, D.; MARTÍNEZ-FÉREZ, A.; SEGURA-CARRETERO, A. Microwave-assisted extraction for *Hibiscus sabdariffa* bioactive compounds. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 156, s/n, p. 313-322, 2018.

PINE ISLAND NURSERY. **ALICE – Fruta do dragão – *Hylocereus undatus***. Disponível em: <https://www.tropicalfruitnursery.com/variety-selected-name-alice-informacion-34>. Acesso em: 24 mai. 2021.

PLAZZOTTA, S.; IBARZ, R.; MANZOCCO, L.; MARTÍN-BELLOSO, O. Optimizing the antioxidant biocompound recovery from peach waste extraction assisted by ultrasounds or microwaves. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 63, s/n, p. 104954, 2020.

POLTURAK, G.; AHARONI, A. “La Vie En Rose”: biosynthesis, sources, and applications of betalain pigments. **Molecular Plant**, v. 11, n. 1, p. 7-22, 2018.

QIN, Y.; Liu, Y.; Zhang, X.; Liu, J. Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. **Food Hydrocolloids**, v. 100, s/n, p. 105410, 2020.

RAJ, G. B.; DASH, K. K. Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from dragon fruit peel: Optimization, kinetics and thermodynamic studies. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 68, s/n, p. 105180, 2020.

RAMLI, N. S.; ISMAIL, P.; RAHMAT, A. Influence of conventional and ultrasonic-assisted extraction on phenolic contents, betacyanin contents, and antioxidant capacity of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). **The Scientific World Journal**, v. 2014, s/n, s/p, 2014.

RAMOS, M.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Il-based advanced techniques for the extraction of value-added compounds from natural sources and food by-products. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 119, s/n, s/p, 2019.

RIVERA, A.; BECERRA-MARTÍNEZ, E.; PACHECO-HERNÁNDEZ, Y.; LANDETA-CORTÉS, G.; VILLA-RUANO, N. Synergistic hypolipidemic and hypoglycemic effects of

mixtures of *Lactobacillus nagelii*/betanin in a mouse model. **Tropical Journal of Pharmaceutical Research**, v. 19, n. 6, p. 1269-1276, 2020.

RORIZ, C. L.; HELENO, S. A.; ALVES, M. J.; OLIVEIRA, M. B. P.; PINELA, J.; DIAS, M. I.; CALHELHA, R. C.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARROS, L. Red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel as a source of valuable molecules: Extraction optimization to recover natural colouring agents. **Food Chemistry**, v. 372, s/n, p. 131344, 2022.

SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, S.; ESTEBAN-MUÑOZ, A.; SAMANIEGO-SÁNCHEZ, C.; GIMÉNEZ-MARTÍNEZ, R.; MIRALLES, B.; OLALLA-HERRERA, M. Study of the phenolic compound profile and antioxidant activity of human milk from Spanish women at different stages of lactation: A comparison with infant formulas. **Food Research International**, v. 141, s/n, p. 110149, 2021.

SANCHEZ-REINOSO, Z.; MORA-ADAMES, W. I.; FUENMAYOR, C. A.; DARGHAN-CONTRERAS, A. E.; GARDANA, C.; GUTIÉRREZ, L. F. Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from Sacha Inchi shell: Optimization, physicochemical properties and evaluation of their antioxidant activity. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, v. 153, s/n, p. 107922, 2020.

SANTOS, G. B. M.; DIONÍSIO, A. P.; MAGALHÃES, H. C. R.; de ABREU, F. A. P.; LIRA, S. M.; de LIMA, A. C. V.; SILVA, G. S. da; GUEDES, J. A. C.; ARAUJO, I. M. da S.; ARTUR, A. G.; PONTES, D. F.; ZOCOLO, G. J. Effects of processing on the chemical, physicochemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose). **Food Research International**, v. 127, s/n, p. 108710, 2020.

SAWICKI, T.; MARTINEZ-VILLALUENGA, C.; FRIAS, J.; WICZKOWSKI, W.; PEÑAS, E.; BĄCZEK, N.; ZIELIŃSKI, H. The effect of processing and in vitro digestion on the betalain profile and ACE inhibition activity of red beetroot products. **Journal of Functional Foods**, v. 55, s/n, p. 229-237, 2019.

SHARAYEI, P.; AZARPAZHOOH, E.; ZOMORODI, S.; RAMASWAMY, H. S. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from pomegranate (*Punica granatum* L.) peel. **LWT-Food Science and Technology**, v. 101, s/n, p. 342-350, 2019.

SOARES, S. E. Phenolic acids as antioxidants. **Revista de Nutrição**, v. 15, n. 1, p. 71-82, 2002.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science & Technology**, v. 15, n. 1, p. 19-38, 2004.

TAN, D.; WANG, Y.; BAI, B.; YANG, X.; HAN, J. Betanin attenuates oxidative stress and inflammatory reaction in kidney of paraquat-treated rat. **Food and Chemical Toxicology**, v. 78, s/n, p. 141-146, 2015.

THILAKARATHNA, S. H.; RUPASINGHE, H. P. Flavonoid bioavailability and attempts for bioavailability enhancement. **Nutrients**, v. 5, n. 9, p. 3367-3387, 2013.

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Microwave assisted extraction process of betalain from dragon fruit and its antioxidant activities. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n.1, p. 41-48, 2017.

TOSSI, V. E.; TOSAR, L. M.; PITTA-ÁLVAREZ, S. I.; CAUSIN, H. F. Casting light on the pathway to betalain biosynthesis: A review. **Environmental and Experimental Botany**, s/v, s/n, p. 104464, 2021.

TSAO, R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. **Nutrients**, v. 2, n. 12, p. 1231-1246, 2010.

TSIAKA, T.; ZOUMPOULAKIS, P.; SINANOGLU, V. J.; MAKRIS, C.; HEROPOULOS, G. A.; CALOKERINOS, A. C. Response surface methodology toward the optimization of high-energy carotenoid extraction from *Aristeus antennatus* shrimp. **Analytica Chimica Acta**, v. 877, s/n, p. 100-110, 2015.

UNIDAD DE INFORMÁTICA DEL INSTITUTO DE QUÍMICA – UNIIQUIM. **Ácido cinámico**. Disponível em: <https://uniquim.iquimica.unam.mx/compuesto-item/acido-cinamico-1181/>. Acesso em: 29 mai. 2021.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) (2021). **Food Waste Index Report 2021**. Nairobi. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2021.

USLU, N.; ÖZCAN, M. M. The effect of ultrasound-vacuum-assisted extraction on bioactive properties of pitaya (*Hylocereus undatus*). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 12, p. 6618-6625, 2021.

VALANCIENE, E.; JONUSKIENE, I.; SYRPAS, M.; AUGUSTINIENE, E.; MATULIS, P.; SIMONAVICIUS, A.; MALYS, N. Advances and prospects of phenolic acids production, biorefinery and analysis. **Biomolecules**, v. 10, n. 6, p. 874, 2020.

VIJAYAKUMAR, R.; ABD GANI, S. S.; ZAIDAN, U. H.; HALMI, M. I. E.; KARUNAKARAN, T.; HAMDAN, M. R. Exploring the potential use of *Hylocereus polyrhizus* peels as a source of cosmeceutical sunscreen agent for its antioxidant and photoprotective properties. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2020, s/n, s/p, 2020.

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

WINSON, K. W. S.; CHEW, B. L.; SATHASIVAM, K.; SUBRAMANIAM, S. The establishment of callus and cell suspension cultures of *Hylocereus costaricensis* for the production of betalain pigments with antioxidant potential. **Industrial Crops and Products**, v. 155, s/n, p. 112750, 2020.

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

WU, M., YANG, Q.; WU, Y.; OUYANG, J. Inhibitory effects of acorn (*Quercus variabilis* Blume) kernel-derived polyphenols on the activities of α -amylase, α -glucosidase, and dipeptidyl peptidase IV. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101224, 2021.

XIE, F.; HUA, Q.; CHEN, C.; ZHANG, L.; ZHANG, Z.; CHEN, J.; HU, G.; ZHAO, J.; QIN, Y. Transcriptomics-based identification and characterization of glucosyltransferases involved in betalain biosynthesis in *Hylocereus megalanthus*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 152, s/n, p. 112-124, 2020.

XIONG, X.; IRIS, K. M.; TSANG, D. C.; BOLAN, N. S.; OK, Y. S.; IGALAVITHANA, A. D.; KIRKHAM, M.B; KIM, K.H VIKRANT, K. Value-added chemicals from food supply chain wastes: State-of-the-art review and future prospects. **Chemical Engineering Journal**, v. 375, s/n, p. 121983, 2019.

YANG, W.; KAIMAINEN, M.; JÄRVENPÄÄ, E.; SANDELL, M.; HUOPALAHTI, R. YANG, B.; LAAKSONEN, O. Red beet (*Beta vulgaris*) betalains and grape (*Vitis vinifera*) anthocyanins as colorants in white currant juice—Effect of storage on degradation kinetics, color stability and sensory properties. **Food Chemistry**, v. 348, s/n, p. 128995, 2021.

YEH, W. J.; TSAI, C. C.; KO, J.; YANG, H. Y. *Hylocereus polyrhizus* peel extract retards alcoholic liver disease progression by modulating oxidative stress and inflammatory responses in C57Bl/6 mice. **Nutrients**, v. 12, n. 12, p. 3884, 2020.

YONG, Y. Y.; DYKES, G.; LEE, S. M.; CHOO, W. S. Comparative study of betacyanin profile and antimicrobial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and red spinach (*Amaranthus dubius*). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 72, n. 1, p. 41-47, 2017.

ZHANG, J.; ZHANG, X.; WEN, C.; DUAN, Y.; ZHANG, H. Lotus seedpod proanthocyanidins protect against neurotoxicity after methyl-mercuric chloride injury. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 183, s/n, p. 109560, 2019.

ZITHA, E. Z. M.; MAGALHÃES, D. S.; DO LAGO, R. C.; CARVALHO, E. E. N.; PASQUAL, M.; BOAS, E. V. D. B. V. Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 291, s/n, p. 110611, 2022.

ZULKIFLI, S. A.; ABD GANI, S. S.; ZAIDAN, U. H.; HALMI, M. I. E. Optimization of total phenolic and flavonoid contents of defatted pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed extract and its antioxidant properties. **Molecules**, v. 25, n. 4, p. 787, 2020.

CAPÍTULO 3

INFLUÊNCIA DO MICRO-ONDAS NA EXTRAÇÃO DE POLIFENÓIS E BETALAÍNAS DE CASCAS DE PITAIA (*Hylocereus polyrhizus* (FAC WEBER) BRITTON & ROSE)

1 INTRODUÇÃO

As perdas e os desperdícios de alimentos e subprodutos alimentícios são um problema que atingem o mundo todo, causando impactos ambientais e econômicos (MATHARU; DE MELO; HOUGHTON, 2016; PANZELLA *et al.*, 2020). Em 2018, das 5,3 bilhões de toneladas de alimentos disponíveis globalmente, 17% foram desperdiçados entre os setores de serviço de alimentação, varejo e domicílio (UNEP, 2021).

No entanto, os subprodutos alimentares podem ser utilizados para a extração de compostos bioativos, ofertando uma forma de redução dos impactos e dos custos com o manejo, promovendo, assim, a valorização desses materiais (BENMEZIANE *et al.*, 2018; COMUNIAN; SILVA; SOUZA, 2021).

Os resíduos agroindustriais, como cascas de frutas, apresentam alto potencial como fontes de compostos de alto valor biológico, que podem ser destinados à aplicação em produtos de indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentícias (GUDIÑA *et al.*, 2016; KABIR *et al.*, 2015; MAKRIS; BOSKOU; ANDRIKOPOULOS, 2016; MATHARU; DE MELO; HOUGHTON, 2016).

Com tanto destaque para os benefícios promovidos pelos compostos bioativos, diversos fitoquímicos, como as betalaínas e os fenólicos, têm atraído a atenção da comunidade científica recentemente. O primeiro grupo apresenta ótimas propriedades tecnológicas para aplicação em uma ampla gama de produtos alimentícios, além de potenciais benefícios à saúde, a exemplo, propriedades ansiolítica, antioxidante e anti-inflamatória (ARIVALAGAN *et al.*, 2021; FATHORDOOBADY *et al.*, 2016; KHAN, 2016; KUSZNIEREWICZ *et al.*, 2021; LEONG *et al.*, 2018; LIRA *et al.*, 2020; MORENO-LEY *et al.*, 2021; SHUNAN *et al.*, 2021).

Os compostos fenólicos também apresentam grande potencial para diversas aplicações, devido às suas propriedades promotoras de saúde, como atividades anti-inflamatória, antibacteriana, analgésica e antialérgica (ANNEGOWDA *et al.*, 2011; ÁVILA-ROMÁN *et al.*,

2021; DE CAMARGO *et al.*, 2018; GODOS *et al.*, 2017; TSAO, 2010; VALANCIENE *et al.*, 2020).

Diversos estudos vêm mostrando que as cascas de pitaia possuem bons teores de fenólicos e betalaínas, apresentando-se, assim, como uma fonte promissora para a obtenção desses compostos (ABREU *et al.*, 2012; BAI *et al.*, 2018; CUNHA *et al.*, 2018; FERRERES *et al.*, 2017; HUA *et al.*, 2018; THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2017).

Apesar dos inúmeros benefícios dos fitoquímicos, é importante levar em consideração que são compostos sensíveis e que requerem métodos de extração que sejam capazes de fornecer bons rendimentos e conferir proteção aos produtos que estão sendo obtidos. As técnicas verdes de extração têm se destacado nesse quesito, uma vez que possibilitam extrair os compostos de interesse com maior qualidade e redução de custos (FERRERES *et al.*, 2017).

Uma das tecnologias limpas que está sendo aplicada em diversos materiais vegetais é o micro-ondas. Este método tem apontado excelentes resultados, como redução de tempo de tratamento sobre o extrato, maiores rendimentos e maior qualidade dos compostos extraídos (ARAÚJO *et al.*, 2020; BALTACIOĞLU *et al.*, 2021; FERRERES *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2016; SINHA; SAHA; DATTA, 2012; THIRUGNANASAMBANDHAM; SIVAKUMAR, 2017).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo investigar a influência do micro-ondas na extração de polifenóis e betalaínas de casca de pitaia, avaliando a qualidade dos extratos obtidos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Reagentes e padrões

Todos os produtos químicos, padrões e reagentes utilizados foram de grau analítico: Folin Ciocalteu (Dinâmica), ácido gálico monoidratado (PM = 188,14; Dinâmica ou Neon), carbonato de sódio anidro (PM = 105,99; Dinâmica), álcool metílico (PM = 32,04; Dinâmica ou Neon), ácido cítrico (PM = 192,13; Dinâmica) e acetona (PM = 58,08; Dinâmica).

2.2 Material vegetal

As cascas de pitaia foram doadas pela empresa FRUTACOR, localizada na cidade de Limoeiro do Norte, no Vale do Jaguaribe – CE (05°53'26"S; 38°37'19"W), no período de março a abril de 2019. O material foi transportado para a Planta Piloto de Frutos e Hortalças,

do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) *Campus* Limoeiro do Norte, e, assim que chegou a este local, passou por limpeza com água corrente e sanitização por imersão em solução de hipoclorito de sódio ($100 \mu\text{L.L}^{-1}$) por 15 minutos.

As cascas foram dispostas sobre mesas inox para secagem natural (FIGURA 8), sendo posteriormente acondicionadas inteiras em sacos plásticos de polietileno com capacidade para 5 kg, os quais foram fechados em seladora manual (Loja Universo, Brasil), e, em seguida, as cascas foram congeladas a $-18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a data do uso.

Figura 8 – Cascas de pitiaia dispostas sobre mesa inox para secagem natural.



Fonte: elaborada pela autora.

Em todas as etapas de processo e análise, as amostras foram mantidas protegidas da incidência de luz para preservar ao máximo as características e os compostos presentes no material.

2.3 Testes preliminares

Inicialmente foram realizados alguns testes, a fim de definir o método de desidratação das cascas para padronização de sua umidade, bem como para a determinação dos pontos fatoriais do planejamento experimental. De acordo com os resultados desses testes, prosseguiu-se para as etapas posteriores.

2.3.1 Teste de desidratação de casca de pitaia

Uma parte das cascas foi desidratada em estufa convencional sem circulação de ar, modelo Function Line (Heraeus, Alemanha) a 40,0 °C durante 24 horas; enquanto outra parte foi submetida à desidratação a frio em liofilizador L101 (Liotop[®]-Liobras, Brasil), utilizando-se para liofilização frascos em borosilicato recobertos com papel alumínio, para proteção do material da incidência de luz, mantendo-se o processo até que as cascas alcançassem umidade em torno de $7,5 \pm 1,5 \text{ g.100 g}^{-1}$.

2.3.2 Análises de qualidade nas cascas desidratadas de pitaia

Para avaliar a eficiência dos processos de desidratação, analisaram-se rendimento, perda de umidade, cor instrumental e polifenóis extraíveis totais (PET).

2.3.2.1 Rendimento de casca desidratada

O rendimento foi calculado a partir da diferença de peso das cascas úmidas e secas, sendo expresso em g.100 g^{-1} de matéria-prima.

2.3.2.2 Teor de umidade final

O teor de umidade das amostras foi medido a partir da sua perda de peso no analisador de umidade por infravermelho, modelo ID200 (Marte[®], Brasil), expressos em g.100 g^{-1} .

2.3.2.3 Cor instrumental

A análise de cor instrumental foi realizada mediante leituras utilizando o colorímetro portátil miniScan EZ (HunterLab-BrasEq[®], Brasil) em triplicata, onde se dispuseram as amostras em fundo branco para a medição. Foram registradas as coordenadas L*, a*, b* determinadas pelo sistema CIELab, no qual para L* ou luminosidade ou claridade, 100% correspondem ao branco e 0% ao preto; para a* ou intensidade da cor vermelha/verde, quando positivo contribui para cor vermelha e quando negativo para cor verde; e para b* ou intensidade da cor amarela/azul, quando positivo contribui para cor amarelo e quando negativo para cor azul.

2.3.2.4 Polifenóis extraíveis totais (PET)

A preparação dos extratos de casca desidratada de pitaia para quantificar os PET se deu pela adição de 10 mL de metanol 50% (deixando-se em repouso por 1 hora à temperatura ambiente, coberto com papel alumínio) à massa de $0,5 \pm 0,0009$ ou $2,5 \pm 0,0052$ g, para amostra desidratada em liofilizador ou estufa, respectivamente, seguida de centrifugação a 5000 rpm durante 20 minutos a $16,0^\circ\text{C}$ (5804 R, Eppendorf, Brasil), e filtração em filtro de tecido (tafetá) para balão volumétrico de 25 mL. Ao resíduo foram adicionados 10 mL de acetona 70% (deixando-se em repouso por 1 hora à temperatura ambiente, coberto com papel alumínio), com posterior centrifugação e filtração nas mesmas condições já citadas. Ao final o balão foi aferido com água destilada (LARRAURI; RUPÉREZ; SAURA-CALIXTO, 1997; OBANDA; OWUOR; TAYLOR, 1997).

Para a quantificação dos PET, utilizou-se o reagente Folin Ciocalteu, e os resultados foram expressos em miligramas equivalente de ácido gálico por 100 g de casca desidratada ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), com base na curva de calibração de ácido gálico em concentrações de 10 a $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ e leituras a 700 nm. Em suma, a 1 mL de uma diluição conhecida do extrato foram adicionados 1 mL de reagente Folin (diluído em água na proporção de 1:3), 2 mL de carbonato de sódio 20% e 2 mL de água destilada. A mistura foi agitada em vórtex e mantida em repouso no escuro por 30 minutos à temperatura ambiente. As medições em triplicata ocorreram em ambiente escuro, e utilizou-se espectrofotômetro modelo 600 Plus (FEMTO®, Brasil) (LARRAURI; RUPÉREZ; SAURA-CALIXTO, 1997; OBANDA; OWUOR; TAYLOR, 1997).

2.3.3 Testes para definição dos pontos fatoriais do planejamento da extração assistida por micro-ondas (EAM)

Para a definição dos pontos fatoriais do planejamento, testou-se a proporção de amostra/solvente (nesse caso, a água) e o tempo de exposição das cascas à irradiação micro-ondas. Para tanto, utilizou-se equipamento doméstico modelo Aquarela (Cônsul, Brasil), na potência de 270 W. Não houve controle de temperatura no processo, devido à natureza do equipamento.

A faixa de tempo testada foi de 30 a 150 segundos, estabelecida de acordo com as condições de trabalho disponíveis (micro-ondas e recipientes de acondicionamento das cascas

com água). Os testes foram conduzidos com volume padronizado em 200 mL nos frascos, sendo variada a massa (g) de cascas, obtendo-se as seguintes proporções: 1,33:200; 2:200; e 6,67:200.

A escolha da faixa de trabalho para os pontos citados acima foi feita a partir de observações visuais do comportamento dos extratos durante a exposição à irradiação, como ocorrência de fervura, e a partir da análise de cor instrumental (ver seção 2.3.2.3) e da temperatura, a qual foi medida em termômetro de mercúrio (variação de 1/1 °C).

2.4 Liofilização de casca de pitaia para EAM

As cascas foram submetidas à liofilização antes de ser aplicado o processo de extração, no intuito de padronizar a umidade do material. Para tanto, realizou-se o degelo do material durante a noite, sob refrigeração, com posterior trituração e desidratação por liofilização até que as cascas alcançassem umidade de $7,5 \pm 1,5 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$.

O teor de umidade foi medido de acordo com o descrito na seção 2.3.2.2. As cascas foram acondicionadas em frascos de vidro recobertos com papel alumínio, para proteção contra a luz, e mantidas à temperatura ambiente local ($28,0 \pm 6,0 \text{ °C}$) até o momento das análises. Para avaliar a qualidade das cascas liofilizadas, realizou-se a quantificação dos PET e das betalaínas totais (BET).

2.5 Quantificação de compostos bioativos na casca de pitaia liofilizada

Os PET foram quantificados de acordo com o descrito na seção 2.3.2.4.

2.5.1 Conteúdo de betalaínas totais (BET)

A quantificação das BET seguiu metodologia descrita por Castellanos-Santiago e Yahia (2008) e Wybraniec e Mizrahi (2002), com adaptações. Os extratos (APÊNDICE B) para análise do teor de betalaínas foram preparados hidratando-se com água destilada $0,65 \pm 0,0013 \text{ g}$ de casca desidratada, aferindo-se para balão volumétrico de 25 mL.

Quantificou-se o conteúdo de betacianinas (Bc) e betaxantinas (Bx) medindo-se a absorbância a 535 e a 483 nm, respectivamente, em espectrofotômetro modelo 600 Plus (FEMTO®, Brasil). As concentrações de cada pigmento foram calculadas de acordo com a

Equação 1 (CASTELLANOS-SANTIAGO; YAHIA, 2008). As BET são calculadas pela soma de Bc e Bx.

$$B = \frac{(AxFDxPMxV)}{\epsilon xPs x L} \quad (1)$$

onde: B (Bc ou Bx) são expressos em termos de mg de betanina ou indicaxantina, respectivamente, por 100 g de amostra em peso seco (Ps); A = absorbância a 535 nm para Bc e 483 nm para Bx; FD = fator de diluição; PM = peso molecular (betanina 550 g.mol⁻¹ e indicaxantina 308 g.mol⁻¹); V = volume do extrato (mL); ϵ = coeficiente de extinção molar (betanina = 60.000 L mol⁻¹ cm⁻¹ e indicaxantina = 48.000 L mol⁻¹ cm⁻¹); Ps = quantidade da amostra em base seca (g); L = largura da cubeta (1 cm).

2.6 Extração de compostos bioativos da casca de pitiaia liofilizada

2.6.1 Extração assistida por micro-ondas (EAM)

A EAM foi realizada seguindo-se metodologia descrita por Thirugnanasambandham e Sivakumar (2017), com modificações. Homogeneizou-se a casca liofilizada com água destilada (200 mL) e em seguida a submeteu à irradiação micro-ondas em frascos tipo Schott âmbar de 250 mL com tampa de polipropileno. Após essa etapa, a massa e o tempo de tratamento seguiram o planejamento experimental. Após a extração, filtrou-se o extrato com filtro de tecido (organza), descartando o resíduo e submetendo o homogeneizado logo em seguida às análises de cor instrumental e viscosidade, sendo o extrato posteriormente liofilizado para a quantificação dos compostos bioativos. Cada experimento de extração foi realizado duas vezes, os extratos foram unidos e homogeneizados em agitador magnético (SL-91, Solab®, Brasil) na 5ª velocidade por 2 minutos para obtenção de amostra suficiente para realizar as análises.

2.6.2 Planejamento experimental para EAM

Para a condução dos testes, utilizou-se um delineamento fatorial, possibilitando avaliar melhor os efeitos das condições de extração no processo, e a análise de duas variáveis independentes – a massa (g) de casca liofilizada e o tempo (s) – e de dois níveis, definidos a partir de testes preliminares e com base nas configurações possíveis do sistema de extração por

micro-ondas. As variáveis respostas foram os parâmetros de cor instrumental (L^* , C^* , h°), a viscosidade e os compostos bioativos (PET, BET, Bc e Bx), (TABELAS 1 e 2).

Tabela 1 – Níveis e valores das variáveis independentes (massa e tempo) utilizados no delineamento experimental para a extração de compostos bioativos de casca de pitaia por EAM.

Variáveis independentes	Níveis das variáveis codificadas		
	-1	0	+1
Massa (g) – X_1	1,33	1,66	2,00
Tempo (s) – X_2	30	60	90

Tabela 2 – Valores codificados e reais de massa e tempo para a extração de compostos bioativos de casca de pitaia por EAM.

Tratamento	Repetição	Valores codificados		Valores reais	
		Massa (g)	Tempo (s)	Massa (g)	Tempo (s)
1	1	-1	-1	1,33	30
2	1	+1	-1	2,00	30
3	1	-1	+1	1,33	90
4	1	+1	+1	2,00	90
5 (C)	1	0	0	1,66	60
6 (C)	1	0	0	1,66	60

(C) ponto central do delineamento.

2.6.3 Análises físicas dos extratos líquidos da EAM

Após a extração, executaram-se análises de viscosidade e de cor instrumental no extrato líquido (APÊNDICE C), seguindo as metodologias descritas a seguir. Verificou-se também a temperatura dos extratos (ver seção 2.3.3).

2.6.3.1 Viscosidade

Para esta análise, utilizou-se um viscosímetro digital programável, modelo Q860M21 (Quimis®, Brasil), utilizando-se haste cilíndrica spindle nº 1, com rotação de 60 rpm a $17,5 \pm 1,0$ °C, as medições foram realizadas em volumes de 260 ± 20 mL. Os resultados foram expressos em miliPascal segundo (mPa.s).

2.6.3.2 Cor instrumental

A análise de cor instrumental foi realizada segundo o descrito na seção 2.3.2.3, sendo calculadas ainda a cromaticidade ou saturação (C^*) e a tonalidade (ângulo Hue – h°), conforme as Equações 2 e 3 (MCGUIRE, 1992).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

$$h^\circ = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

2.6.4 Análises de compostos bioativos em extratos liofilizados da EAM

Os extratos liofilizados (APÊNDICE D) foram reidratados para a quantificação dos PET e das BET (consultar seções 2.3.2.4 e 2.5.1, respectivamente). Para o preparo do extrato, hidratou-se $200 \pm 1,5$ mg da amostra com água destilada, aferindo-se em seguida para balão volumétrico de 25 mL.

2.8 Análise estatística

Para a análise estatística dos dados utilizou-se o programa Statistica® versão 7.

Os dados dos testes preliminares foram submetidos à análise de variância de dados pelo teste de Shapiro-Wilk em um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Quando os dados se apresentaram não homogêneos, foram submetidos à análise de variância das amostras pelo teste U de Mann-Whitney, sendo expressos em mediana; para dados homogêneos utilizou-se o teste t de Student, expressando os resultados em média e desvio padrão, ambos em um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) (STATSOFT, 2004).

Os dados do delineamento fatorial foram submetidos à análise de variância de dados pelo teste de Shapiro-Wilk em um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Quando os dados se apresentaram não homogêneos, avaliou-se a variância dos tratamentos por meio do teste de Kruskal-Wallis e de comparações múltiplas, sendo expressos em mediana; para dados homogêneos utilizou-se ANOVA e teste de Tukey, expressando os resultados em média, ambos em um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) (STATSOFT, 2004).

Avaliaram-se os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas obtidas em um nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) (STATSOFT, 2004). Aplicou-se a análise de variância (ANOVA) para validar o modelo (RODRIGUES; IEMMA, 2009). Aplicou-se teste de correlação de Spearman ($p < 0,05$) entre os parâmetros avaliados no delineamento fatorial da EAM (STATSOFT, 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Testes preliminares

Para a desidratação das cascas, percebeu-se que a aplicação de calor ocasionou perdas na amostra, levando-a a descolorir totalmente, enquanto a liofilização conservou os pigmentos presentes, conferindo uma coloração rosada ao final (FIGURA 9).

Figura 9 – Casca de pitaia úmida (A), desidratada em estufa convencional sem circulação de ar (B) e liofilizada (C).



Fonte: elaborada pela autora.

As observações visuais apresentaram-se de acordo com a cor instrumental, visto que diferenças entre os processos foram verificadas, em que o brilho das cascas desidratadas por liofilização foi superior, além de maior valor de a^* e menor de b^* , indicando que as cascas liofilizadas apresentaram coloração tendendo mais ao vermelho do que ao amarelo, resultado contrário ao averiguado na amostra desidratada em estufa (TABELA 3).

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade de cascas desidratadas em estufa convencional sem circulação de ar e por liofilização.

Amostra	Cor instrumental ¹			UF (g.100 g ⁻¹) ²	REN (g.100 g ⁻¹) ²	PET (mg EAG.100 g ⁻¹) ²
	L*	a*	b*			
CDEC	41,65 ± 3,16 ^b	14,69 ± 0,17 ^b	20,90 ± 0,12 ^a	85,45 ^a	48,34 ^a	31,95 ^b
CDL	50,03 ± 1,96 ^a	19,76 ± 0,48 ^a	13,26 ± 1,15 ^b	7,20 ^a	6,13 ^a	173,11 ^a

UF: umidade final; REN: rendimento; PET: polifenóis extraíveis totais; L*: luminosidade; a*: variação de vermelho a verde; b*: variação de amarelo a azul; CDEC: casca desidratada em estufa convencional sem circulação de ar; CDL: casca desidratada em liofilizador.

¹As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste t de Student ($p \geq 0,05$);

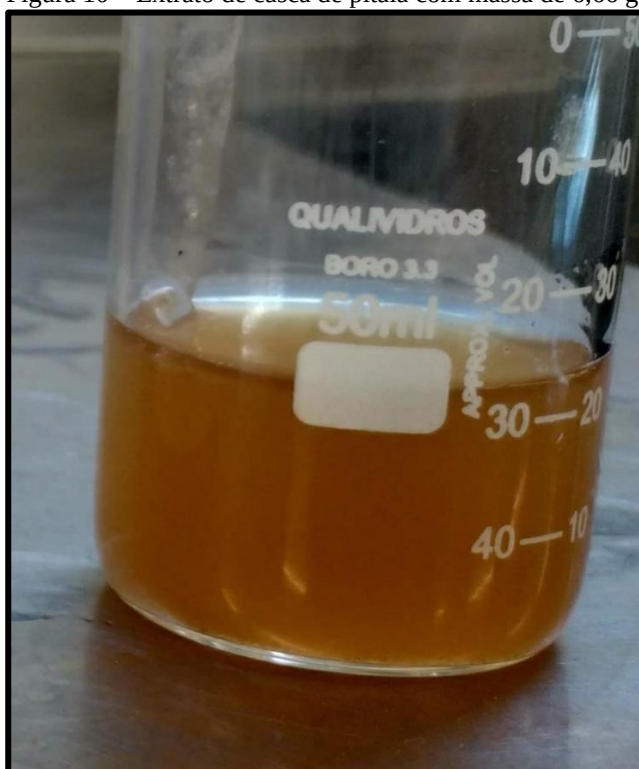
²As medianas seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste U de Mann-Whitney ($p \geq 0,05$).

O teor de umidade atingida ao final do processo de desidratação e o rendimento se mostraram inversamente proporcionais (TABELA 3), uma vez que quanto mais alta a retirada de água da amostra, menor é a massa do produto. Nesses parâmetros não houve diferença estatística ($p \geq 0,05$) entre as amostras, no entanto, em termos de processo, os valores observados promoveram impactos importantes para o objetivo pretendido. Percebe-se que, apesar do baixo REN, as cascas desidratadas a frio obtiveram UF mais desejável, pois alcançaram características mais adequadas para efetuar as etapas seguintes da pesquisa.

Os PET, em extrato acetometanólico, também foram quantificados (TABELA 3), com teor mais alto para as cascas liofilizadas. Efeito esperado, tendo em vista que a maior remoção de água em CDL promoveu concentração dos compostos presentes na amostra. Outros benefícios de CDL são maior facilidade para armazenamento, trabalho com menores quantidades de amostra, visto que os compostos estão concentrados, e maior padronização do material. Essas vantagens reforçam que o processo de desidratação a frio foi mais eficiente para alcançar características mais desejáveis no produto.

Quanto aos testes para definição das faixas de trabalho do micro-ondas, percebeu-se que não seria viável a utilização da massa de 6,66 g, pois o extrato ferveu e transbordou do recipiente, havendo ainda perda total da coloração vermelha (FIGURA 10).

Figura 10 – Extrato de casca de pitaia com massa de 6,66 g.



Fonte: elaborada pela autora.

Ao exceder o tempo de 60 segundos para a massa de 2,00 g, o extrato indicou início de fervura, mas sem transbordamento. Apesar disso, esse evento limita o tempo de exposição do extrato à irradiação. Um possível fator para um limite tão curto de tempo é o recipiente utilizado para fazer a extração, que, por não comportar um volume muito grande, acaba por permitir que se atinja a fervura rapidamente.

As temperaturas alcançadas durante as extrações em ambas as massas foram similares quando submetidas ao mesmo tempo (TABELA 4). Quanto maior foi o acréscimo no tempo de exposição à irradiação, mais elevada foi a temperatura atingida pelos extratos, devido ao aquecimento proporcionado pelas micro-ondas.

Tabela 4 – Testes para definição dos pontos fatoriais do planejamento experimental da EAM.

Massa	Tempo (s)	Temperatura final (°C)	Cor instrumental		
			L*	a*	b*
M1	45	41,0	59,33	13,26	7,45
	60	40,0	61,22	10,08	10,13
	90	46,2	60,95	10,06	6,92
	120	54,0	60,45	7,34	9,20
	150	61,0	61,32	6,33	8,54
M2	30	34,8	57,69	17,05	8,38
	45	42,0	59,80	16,71	3,65
	60	41,0	51,76	17,88	1,31

L*: luminosidade; a*: variação de vermelho a verde; b*: variação de amarelo a azul; M1: massa 1 (1,33 g); M2: massa 2 (2,00 g).

Os parâmetros de cor variaram, percebendo-se que para M1 a luminosidade manteve-se bem próxima, enquanto os parâmetros a* e b* diferenciaram conforme o tempo mudou. Observou-se, portanto, que a tendência ao vermelho (a*) diminuiu conforme aumentou o tempo de exposição, enquanto a tendência ao amarelo (b*) apresentou maiores valores para os tempos de 60 e 120 segundos (TABELA 4).

Esse comportamento para vermelho já era esperado, visto que o aquecimento pode causar a perda de compostos termossensíveis, como as betalaínas, que são os pigmentos presentes na pitiaia. Para M2, a luminosidade diminuiu quando se elevou a temperatura, porém maior valor de a* e menor de b* foram encontrados (TABELA 4).

De acordo com as observações e os resultados encontrados nos testes, o processo de desidratação a frio para padronização da umidade das cascas, as massas M1 e M2 e a faixa de tempo de 30 a 90 segundos foram definidos para identificar os pontos fatoriais do planejamento da EAM

3.2 Quantificação de compostos bioativos na casca liofilizada de pitiaia (CLP)

Hua *et al.* (2018) observaram níveis superiores de fenóis e outros antioxidantes em casca de pitaiá de três cultivares frente as suas polpas, indicando que os resíduos dessas frutas são fontes promissoras para a extração desses compostos. No presente estudo, avaliou-se a qualidade das cascas desidratadas que foram submetidas a EAM, quantificando-se os teores dos compostos bioativos (TABELA 5).

Tabela 5 – Compostos bioativos (mg.100 g⁻¹) presentes em casca liofilizada de pitaiá.

	PET ¹	Bc	Bx	BET
CLP	150,94 ± 4,62	181,79 ± 2,73	116,32 ± 0,81	298,12

PET: polifenóis extraíveis totais; Bc: betacianinas; Bx: betaxantinas; BET: betalaínas totais; CLP: casca liofilizada de pitaiá.

¹mg EAG.100 g⁻¹.

O teor de PET encontrado (TABELA 5), em extrato acetometanólico, mostrou-se superior àquele obtido por outros autores quando averiguaram polpa e casca de *Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus undatus*.

Para a primeira espécie, Wu *et al.* (2006) utilizaram acetona 80% para extrair os compostos fenólicos de polpa e casca de pitaiá, encontrando 42,4 e 39,7 mg.EAG.100 g⁻¹ de polpa e casca fresca, respectivamente.

Já Fan *et al.* (2018) com metanol 80% obtiveram teor de 123,00 mg.EAG.100 g⁻¹ de polpa fresca. Enquanto Abreu *et al.* (2012) utilizaram metanol 50% e acetona 70% e alcançaram teores de 77,22 e 124,55 mg.EAG.100 g⁻¹ de casca e polpa fresca, respectivamente.

Para a *H. undatus*, os últimos autores citados relataram PET para casca e polpa fresca, nessa ordem, em valores de 116,14 e 118,18 mg.EAG.100 g⁻¹. Mello *et al.* (2015) obtiveram conteúdo de 40,68 mg.EAG.100 g⁻¹ de casca fresca utilizando como solvente acetona 80%.

De Lima *et al.* (2013) alcançaram apenas teor de 17,28 e 11,56 mg.EAG.100 g⁻¹ de polpa fresca de *H. undatus* de aquisição comercial e da coleção Embrapa Cerrados, respectivamente. Esses pesquisadores utilizaram metanol 50% e acetona 70% para a extração dos compostos fenólicos.

Verifica-se que diferentes solventes e regiões de origem do material, bem como o estado do material, se fresco ou desidratado, além da espécie, podem interferir na quantificação dos compostos fenólicos. Contudo, observa-se que as cascas analisadas no presente estudo apresentaram um bom conteúdo de PET, o que é bastante desejável, pois reforçam-se as vantagens de seu aproveitamento, visto que os compostos fenólicos apresentam diversos efeitos

benéficos à saúde (ANNEGOWDA *et al.*, 2011; ÁVILA-ROMÁN *et al.*, 2021; DE CAMARGO *et al.*, 2018; GODOS *et al.*, 2017; TSAO, 2010).

Segundo Wybraniec e Mizrahi (2002), as espécies de *Hylocereus* são a terceira fonte mais abundante de betacianinas, ficando atrás apenas de *Beta vulgaris* L. e *Amaranthus*. Os teores para os grupos das betalaínas desse estudo (TABELA 5), assim como os PET também se mostraram satisfatórios, uma vez que seus resultados se igualaram ou superaram os valores apontados na literatura em estudos da presença dessas substâncias tanto na polpa quanto na casca de pitaia.

Fan *et al.* (2018) utilizaram água ultrapura como solvente e relataram teor de 78 mg.100 g⁻¹ de betacianinas para a polpa da espécie *H. polyrhizus*. Já Mello *et al.* (2015) encontraram 101,04 mg.100 g⁻¹ de betacianinas em *H. undatus* ao utilizar água como solvente.

Paško *et al.* (2021) avaliaram diferentes espécies de pitaia e encontraram valores distintos quando alteraram o solvente. Para extração com metanol, o teor de betacianinas variou entre 3,1 e 18,0 mg equivalente de amarantina.100 g⁻¹ de polpa seca, já o uso de água resultou em teores de 2,3 a 5,6 mg equivalente de amarantina.100 g⁻¹ de polpa seca.

Arivalagan *et al.* (2021) fizeram caracterização bioquímica e nutricional de espécies de *Hylocereus*. Encontraram na pitaia de polpa vermelha conteúdo total de betalaínas variando entre 14,4 e 23,0 mg equivalente de betacianina.100 g⁻¹ de polpa fresca, utilizando água para extrair os pigmentos da fruta.

Alves, Monteiro e Pompeu (2018) realizaram trabalho para otimização de betalaínas e polifenóis de casca de pitaia (*H. polyrhizus*). Os autores observaram variação de betalaínas de 5,92 a 11,54 mg.100 g⁻¹ de casca quando usaram etanol 20% e ácido clorídrico 0,05% como solventes.

De acordo com as quantificações obtidas nesta pesquisa, o subproduto da pitaia produzida na Chapada do Apodi apresenta-se como uma matéria-prima promissora para a extração de compostos bioativos para o desenvolvimento de produtos com alto valor biológico.

3.3 Delineamento fatorial da EAM

Os dados obtidos no delineamento fatorial da EAM foram submetidos à análise de variância para verificar a normalidade da distribuição. Os resultados estão explanados no Quadro 1.

Quadro 1 – Análise de variância dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para os extratos de casca de pitaia obtidos por EAM.

Parâmetro	p-valor	Resultado
L*	0,04171	homogêneos ¹
C*	0,41056	Homogêneos
h°	0,00018	não homogêneos
PET	0,17186	Homogêneos
Bc	0,00014	não homogêneos
Bx	0,00093	não homogêneos
BET	0,0029	não homogêneos

L*: luminosidade; C*: croma; h°: ângulo Hue; PET: polifenóis extraíveis totais; Bc: betacianinas; Bx: betaxantinas; BET: betalaínas totais.

¹ dados considerados homogêneos devido à proximidade do limite de p em conjunto com a avaliação do histograma de distribuição (ver APÊNDICE E).

Verifica-se que apenas a luminosidade, o croma e os PET apresentaram distribuição normal dos dados. Dessa forma, foram utilizados testes paramétricos para esses parâmetros e não paramétricos para os demais.

3.3.1 Efeito da massa e do tempo sobre os parâmetros físicos de extratos líquidos de casca de pitaia obtidos por EAM

Os extratos líquidos foram avaliados quanto a parâmetros físicos para averiguar seu comportamento frente às condições da EAM (TABELA 6).

Tabela 6 – Análises físicas em extratos líquidos de casca de pitia obtidos por EAM.

Ensaio	Massa (g)	Tempo (s)	TA (°C)	Viscosidade (mPa.s)	L* ¹	C* ¹	h° ²
T1	1,33	30	35,95	60,0	50,79 ^{ab}	31,52 ^d	3,67 ^b
T2	2,00	30	37,70	57,9	48,86 ^{ab}	35,79 ^{bc}	5,22 ^{ab}
T3	1,33	90	50,95	60,4	55,75 ^a	24,45 ^e	4,46 ^{ab}
T4	2,00	90	52,45	66,6	44,54 ^b	38,78 ^b	19,30 ^{ab}
T5	1,665	60	46,25	58,0	44,85 ^b	42,62 ^a	6,58 ^{ab}
T6	1,665	60	43,35	49,0	48,47 ^{ab}	34,94 ^{cd}	20,57 ^a

TA: temperatura atingida pelo extrato no ensaio; L*: luminosidade; C*: croma; h°: ângulo Hue.

¹As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ²As medianas seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Kruskal-Wallis ($p \geq 0,05$).

A temperatura atingida pelos extratos após a extração foi coerente com o tempo de extração, uma vez que maiores tempos de exposição à irradiação micro-ondas ocasionaram temperatura mais alta (TABELA 6). Este comportamento já era esperado, pois o aquecimento gradual pode ser causado nesse processo quando não se controla a temperatura de extração no equipamento, como foi o caso do presente estudo.

A variação na temperatura ficou entre 35,95 e 52,45 °C, valores brandos se comparados com os obtidos em técnicas convencionais de extração (JESUS *et al.*, 2019; MELLINAS; JIMÉNEZ; GARRIGÓS, 2020). Verificou-se que extratos que atingiram temperatura de 46,25 °C (T5) e 52,45 °C (T4) obtiveram resultados melhores para a luminosidade e o croma.

O calor, até certo ponto, pode contribuir para a obtenção de alguns compostos, pois facilita a ruptura de ligações entre substâncias de interesse e componentes da parede celular dos vegetais, melhorando a transferência de massa no meio (MACHADO *et al.*, 2015). A temperatura mais elevada alcançada nos extratos T4 e T5 pode ter contribuído para a obtenção de compostos colorantes presentes na amostra.

O aquecimento também parece ter influenciado a viscosidade, pois o maior valor observado foi em T4 (66,6 mPa.s) (TABELA 6), em que a temperatura foi a mais alta observada. Este tratamento corresponde à massa de 2,00 g e ao tempo de 90 s. Dessa forma, infere-se que valores mais altos para esses parâmetros levaram a maior viscosidade. Isto pode estar relacionado à presença já relatada de mucilagem na casca da pitia (UTPOTT, 2019).

As mucilagens são uma secreção de natureza mista constituída principalmente por heteropolissacarídeos ácidos e/ou neutros, proteínas e substâncias fenólicas, apresentando ampla distribuição nos vegetais, formando soluções coloidais que, em contato com a água, tornam-se viscosas (ROCHA; PIMENTEL; MACHADO, 2011).

A hidrólise da mucilagem fornece mistura de açúcares e ácidos urônicos, estes por sua vez, possuindo grupos hidrofílicos, podem ligar-se a água para formar soluções viscosas ou géis (JANI *et al.*, 2009), assim, o aquecimento do micro-ondas pode ter favorecido a quebra dos compostos presentes na mucilagem da casca acarretando maior viscosidade.

É válido mencionar que a viscosidade é um parâmetro que pode influenciar processos posteriores. Viscosidades elevadas podem comprometer a eficiência da secagem por *spray dryer*, por exemplo. Valores mais altos para esse parâmetro podem promover a formação de gotículas maiores que acarretará partículas de pó maiores diminuindo a eficiência da secagem (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

Em relação à cor, de forma geral, foi encontrada luminosidade média para os extratos líquidos da EAM, variando de 44,54 a 55,75 (TABELA 6), e, apesar de ter havido diferença estatística entre eles, a discordância de intensidade entre as amostras para esse parâmetro foi leve. Ainda assim, destacaram-se, com maior média, T3 (55,75), que diferiu ($p < 0,05$) de T4 (44,54), e T5 (44,85). T3 foi o tratamento em que se utilizou menor massa e maior tempo, levando a crer que esta condição proporciona uma cor mais clara no extrato.

Já a combinação de maiores massa e tempo resultou em cores mais escuras, tratamentos T4 e T5. Considerando o maior teor de sólidos presentes nas condições de extração dessas amostras (T4 = 2,00 g e 90 s e T5 = 1,665 g e 60 s), era esperado que fossem obtidos extratos mais escuros, visto que o conteúdo de pigmentos na matéria-prima era maior. Além disso, o maior tempo de exposição às micro-ondas também parece ter favorecido a qualidade do extrato, o que pode estar relacionado ao aquecimento causado no meio, pois o calor pode favorecer a transferência de massa, como supracitado.

Em relação ao croma, este é um parâmetro que indica a pureza ou intensidade da cor, no qual valores mais altos indicam maior pureza (FERREIRA; SPRICIGO, 2017). Para os extratos líquidos obtidos na EAM, observa-se que maiores massas, independentemente do tempo, levaram a uma maior saturação, destacando-se os tratamentos T5, T4 e T2 (TABELA 6), cujas massas foram de 1,665 g para o primeiro e 2,00 g para os dois últimos.

Assim como para a luminosidade, verifica-se que massas mais elevadas resultaram em extratos com maior qualidade para a saturação, por apresentarem maior grau de pureza. Já nos

extratos com menor massa, podem ter ocorrido perdas de compostos durante a extração, pois a agitação no meio foi maior e isso pode ter causado a decomposição de substâncias corantes.

O ângulo Hue ou tonalidade, diz respeito à cor propriamente dita, em que o ângulo 0° representa o vermelho; 90°, amarelo; 180°, verde; e 270°, azul (FERREIRA; SPRICIGO, 2017). A variação para esse parâmetro foi de 3,67 a 20,57° (TABELA 6), indicando que os extratos apresentaram cor avermelhada (APÊNCIDE B). As cascas de pitaiá são detentoras de pigmentos betalaínas, os quais podem manifestar cor vermelho-violeta (Bc) a amarela-laranja (Bx). Tendo em vista a cor obtida nos extratos líquidos da EAM, infere-se que predominaram compostos do grupo betacianinas.

Foi observada bastante variabilidade para este parâmetro, visto que tratamentos submetidos às mesmas condições, T5 e T6 (1,665 g e 60 s), apresentaram medianas distantes, tendo sido o primeiro 6,58°, enquanto o segundo foi o tratamento com maior ângulo Hue verificado (20,57°). O que pode ter ocorrido nesse caso é uma diluição da cor nas cascas, uma vez que elas foram provenientes de frutas diferentes, além da presença das brácteas na extração, que, por apresentarem cor verde, podem ter influenciado na variação de cor dos extratos.

Fathordoobady *et al.* (2016) utilizaram duas técnicas de extração para a obtenção de pigmentos da polpa e casca da pitaiá. Eles estudaram o efeito do tipo e a proporção de solvente sobre parâmetros de cor em extratos de polpa e casca de pitaiá extraídos por maceração e com fluído supercrítico. Os autores observaram faixas de 16,8 a 38,5, de 49,9 a 57,3 e de 10,2 a 48,7 para L*, C* e h° da casca, respectivamente. Enquanto para a polpa, os valores variaram entre 15,7 e 32,1, 44,3 e 61,2, e 18,4 e 353,7 para L*, C* e h°, nessa ordem.

Leong *et al.* (2019) encontraram cor na faixa de vermelho-azulada/violeta para extratos de casca de pitaiá vermelho-púrpura. Eles obtiveram luminosidade de 41,433, croma de 11,633 e ângulo Hue de 338,367°. Estes valores mostraram-se próximos aos alcançados no presente estudo, exceto para o último parâmetro.

Santos *et al.* (2020), avaliando os efeitos do processamento sobre a pitaiá (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose), obtiveram luminosidade de 30,97 para polpas processadas com o fruto inteiro sem adição de ácido ascórbico, 28,70 para polpas processadas sem a casca e sem ácido ascórbico e 27,73 para polpas processadas com o fruto inteiro com adição de ácido ascórbico.

Wu *et al.* (2019) avaliaram o perfil metabólico de pitaiá (*Hylocereus polyrhizus*) durante seu desenvolvimento e maturação. Os autores observaram na casca, 29 dias após a antese, luminosidade de 37,69, croma de 23,64 e ângulo Hue de 26,83°.

Dentre as respostas avaliadas no delineamento fatorial, apenas a luminosidade e o croma, entre os parâmetros físicos, apresentaram dados com distribuição normal (ver QUADRO 1 da seção 3.3), sendo, portanto, as respostas avaliadas quanto ao efeito das variáveis e quanto à adequação do modelo de regressão linear.

Obtiveram-se valores médios para os coeficientes de determinação para o estudo dos efeitos das variáveis, $R^2 = 0,78643$ e $R^2 = 0,66384$ para luminosidade e croma, respectivamente (TABELA 7). Não houve efeito significativo para nenhuma das variáveis em ambos os parâmetros, bem como não houve significância do modelo quando avaliado na ANOVA pelo teste F (TABELA 8).

Tabela 7 – Efeito da massa de casca de pitaiá (g) e do tempo de extração (s) sobre a luminosidade e o croma de extrato líquido da EAM.

Variável dependente	Fatores	Efeitos	Erro padrão	t(10)	P	R ²
L*	Massa	-5,17515	2,771572	-1,86723	0,202836	0,78643
	Tempo	1,71485	2,771572	0,61873	0,599176	
	Massa x Tempo	-6,00750	2,782139	-2,15931	0,163449	
C*	Massa	6,85614	5,243884	1,30746	0,321152	0,66384
	Tempo	-4,48386	5,243884	-0,85506	0,482599	
	Massa x Tempo	7,42594	5,263879	1,41073	0,293765	

t: teste t de Student; R²: coeficiente de determinação; p: significância ao nível de 5%.

L*: luminosidade; C*: croma.

Tabela 8 – Análise de variância do delineamento fatorial da EAM para a luminosidade e o croma em extratos líquidos.

Variável dependente	Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	Teste F	F (5%)
L*	Regressão	78,435	3	26,14	2,84	4,07
	Resíduo	18,386	2	9,19		
	Falta de ajuste	11,834	1	11,83	1,81	5,59
	Erro puro	6,552	1	6,55		
	Total	96,821	5			
C*	Regressão	145,811	3	48,60	1,48	4,07
	Resíduo	65,818	2	32,91		
	Falta de ajuste	36,327	1	36,33	1,23	5,59
	Erro puro	29,491	1	29,49		
	Total	211,628	5			

L*: luminosidade; C*: croma.

Para se alcançar a significância do modelo, algumas medidas poderiam ser tomadas durante o experimento, como melhorar a padronização do material antes das extrações, trabalhar com subprodutos frescos ou pelo menos com recolhimento mais recente e usar recipientes maiores para trabalhar com volumes que não restringissem tanto o tempo de exposição a irradiação micro-ondas.

Nesse estudo, objetivou-se a utilização de micro-ondas doméstico a fim de tornar o processo acessível para produtores de pequeno e médio porte, então, embora tenha sido um fator limitante para a otimização do processo, visto que o equipamento não permite certos controles de configurações, foi possível obter bons resultados da EAM.

3.3.2 Efeito da massa e do tempo sobre os compostos bioativos de extratos liofilizados de casca de pitaia obtidos por EAM

Os extratos líquidos foram liofilizados e posteriormente reidratados para a quantificação dos compostos bioativos (TABELA 9).

Tabela 9 – Análises de compostos bioativos (mg.100 g⁻¹) em extratos liofilizados de casca de pitaia obtidos por EAM.

Ensaio	Massa (g)	Tempo (s)	TA (°C)	PET ^{1,2}	Bc ³	Bx ³	BET ³
T1	1,33	30	35,95	694,06 ^b	179,77 ^{ab}	147,19 ^a	326,39 ^{ab}
T2	2,00	30	37,70	461,14 ^d	186,70 ^{ab}	101,12 ^b	288,67 ^{ab}
T3	1,33	90	50,95	409,27 ^e	166,72 ^{ab}	101,82 ^{ab}	268,54 ^{ab}
T4	2,00	90	52,45	694,61 ^b	177,69 ^{ab}	111,16 ^{ab}	289,31 ^{ab}
T5	1,665	60	46,25	524,14 ^c	247,00 ^a	127,47 ^{ab}	375,49 ^a
T6	1,665	60	43,35	835,65 ^a	161,16 ^b	103,54 ^{ab}	263,80 ^b

TA: temperatura atingida pelo extrato no ensaio; PET: polifenóis extraíveis totais; Bc: betacianinas; Bx: betaxantinas; BET: betalaínas totais.

¹mg EAG.100 g⁻¹; ²As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$); ³As medianas seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Kruskal-Wallis ($p \geq 0,05$).

Percebem-se variações notáveis, de maneira geral, entre os extratos, para todos os grupos de compostos avaliados. Como já dito, a casca da pitaia possui mucilagem, cujos compostos podem ter sido extraídos juntamente com os compostos de interesse. Ao hidratar o extrato liofilizado para quantificar os compostos bioativos, obtiveram-se amostras espessas e verificou-se dificuldade para a total homogeneização em alguns extratos.

Essa mucilagem é uma fonte de possíveis interferentes presente nas amostras, o que pode ter contribuído para a tamanha variabilidade observada nos resultados. Uma possível solução para esse problema é a adição de uma etapa de centrifugação do extrato líquido após a filtração, podendo, assim, remover substâncias indesejadas do material (FERRERES *et al.*, 2017).

Outro fator que pode ter influenciado na quantificação dos compostos bioativos é a presença das brácteas na casca. Elas são verdes e podem ter composição diferente do restante

da casca. Dessa forma, é preciso estudar a extração com a ausência das brácteas para verificar os teores dos compostos desejados.

Os PET foram quantificados com altos teores, variando entre 409,27 (T3) e 835,65 (T6) mg EAG.100 g⁻¹ (TABELA 9). Assim, pode-se afirmar que o micro-ondas foi efetivo para a extração desses compostos, visto que extraiu de forma concentrada os PET presentes na amostra (ver TABELA 5 da seção 3.3).

Houve diferença estatística entre os tratamentos ($p \geq 0,05$), em que T6 destacou-se com maior média, 835,65 mg EAG.100 g⁻¹, seguido de T1 e T4, 694,06 e 694,61 mg EAG.100 g⁻¹, respectivamente (TABELA 9). Verifica-se comportamento incomum entre os extratos, pois houve variação de massa e tempo nas amostras com maiores teores, as quais tiveram as seguintes combinações, 1,665 g e 60 s, 1,33 g e 30 s e 2,00 g e 90 s para T6, T1 e T4, nessa ordem.

Tendo em vista que T6 foi o tratamento com melhor teor de PET, infere-se que a associação de massa e tempo médios favoreceu a extração desses compostos. Essa condição provavelmente melhorou a transferência de massa no meio, indicando que valores intermediários para os fatores estudados foram mais efetivos na extração dos PET. Já a combinação de maior massa e menor tempo, e vice-versa, levaram aos menores teores desses fitoquímicos (TABELA 9).

A temperatura mais elevada em alguns extratos pode ter melhorado para a extração dos compostos estudados, visto que bons teores foram observados em temperaturas mais altas nas amostras (TABELA 9). Como citado antes, o calor, até certo ponto, pode favorecer a extração, uma vez que irá atuar na quebra de ligações entre os compostos bioativos e outras substâncias presente no material vegetal.

Para Bc, obtiveram-se valores entre 161,16 e 247,00 mg.100 g⁻¹; para Bx, entre 101,12 e 147,19 mg.100 g⁻¹; e para BET, alcançaram-se teores entre 263,80 e 375,49 mg.100 g⁻¹. Da mesma forma em que ocorreu para os PET, verificou-se que a EAM foi eficiente na extração dos pigmentos presentes na casca da pitaiá (ver TABELA 5 da seção 3.3).

Houve diferença estatística entre os tratamentos ($p \geq 0,05$), o que pode ser observado quando se analisa que, para as Bc e BET, T5 diferiu de T6, embora tenham sido extraídos sob as mesmas condições, ressaltando que pode ter ocorrido diminuição de certos compostos pela presença das brácteas no material de extração. Já para as Bx, a diferença se deu entre T1 e T2, em que se variou tanto a massa quanto o tempo de extração. Constatou-se que condições médias de extração foram mais eficientes para a obtenção dos pigmentos Bc e BET, enquanto as Bx foram mais bem extraídas com menores massa e tempo.

Tempos prolongados de exposição ao calor não são benéficos para os pigmentos betalaínas. Cardoso-Ugarte *et al.* (2014) afirmaram que o aumento do tempo de extração pelo processo de micro-ondas para a obtenção de betalaínas em beterraba vermelha (*Beta vulgaris*) levaram a uma degradação desses pigmentos.

Vale ressaltar que, embora o aquecimento excessivo degrade as betalaínas, até uma determinada faixa de temperatura é possível extrair esses compostos sem que sejam prejudicados. Dessa forma, o micro-ondas se mostrou um processo efetivo para a extração dos compostos bioativos de subprodutos de pitiaia produzida na Chapada do Apodi, destacadamente para os pigmentos, que podem despertar o interesse para aplicações futuras como corantes em alimentos.

A literatura traz alguns trabalhos semelhantes com teores próximos para os compostos avaliados nessa pesquisa. Bai *et al.* (2018) otimizaram a EAM de polifenóis de casca de pitiaia (*Hylocereus undatus*). Os autores obtiveram 463,8 mg EAG.100 g⁻¹ de casca de pitiaia seca, nas condições otimizadas, que foram: tempo de extração de 20,3 min; proporção de matéria-prima para solvente de 1:33,4 (g:mL); potência de micro-ondas de 497 W; temperatura de extração de 43,3 °C; e concentração de etanol de 64,9%.

Ferreres *et al.* (2017) estudaram a otimização da recuperação de compostos de alto valor biológico usando EAM a partir de subprodutos de pitiaia vermelha de polpa branca (PVPB) e de pitiaia amarela (PA). Esses autores relataram para os compostos fenólicos valores de 239 a 1014 mg.100 g⁻¹ de extrato seco para PVPB e 321 a 657 mg.100 g⁻¹ de extrato seco para PA. Para as Bc, foram verificados valores entre 10 e 166 mg.100 g⁻¹ de extrato seco. Afirmaram ainda que alcançaram otimização do processo, para PVPB, com as seguintes condições: razão sólido/solvente de 1 g/150 mL, 49,33 °C e 5 minutos, sendo previsto 151 mg.100 g⁻¹ de extrato seco para betacianinas.

Thirugnanasambandham e Sivakumar (2017) avaliaram o efeito da massa, tempo e temperatura na EAM de casca de pitiaia e verificaram que houve aumento do teor de betalaínas nos extratos líquidos até 40 °C, com a adição de massa até 25 g e com um tempo máximo de 8 minutos. Os autores otimizaram o processo, encontrando como condições ideais 35 °C, 20 g de amostra e tempo de tratamento de 8 minutos, sendo possível, dessa forma, alcançar 0,9 mg.100 mL⁻¹ de extrato líquido de casca de pitiaia.

Melgar *et al.* (2019) otimizaram EAM de biocompostos de cascas de frutas de *Opuntia*, obtendo para betalaínas 132,9 mg.g⁻¹, para ácidos fenólicos 8,0 mg.g⁻¹, para flavonoides 1,5 mg.g⁻¹ de casca seca, além de IC₅₀ de 3,6 mg.mL⁻¹ e rendimento de sólidos extraíveis de 79,1%,

com um tempo de 1,4 min, razão sólido/líquido de 5 g/L, concentração de metanol de 0% e temperatura de 36,6 °C.

Singh, Ganesapillai e Gnanasundaram (2017) otimizaram a extração de pigmentos betalaínas de cascas de beterraba utilizando micro-ondas como pré-tratamento. Foram otimizadas condições de extração usando ácido cítrico e etanol como solventes, obtendo-se, para o primeiro, condições ótimas com pH 5,20, potência de micro-ondas de 224,61 MW e tempo de 57,06 segundos, alcançando uma concentração de betanina de 229,264 mg.L⁻¹; para o segundo solvente, as condições ótimas foram pH 4,74, potência de micro-ondas de 384,25 MW e tempo de 74,91 segundos, obtendo teor de betanina de 472,113 mg.L⁻¹.

Dentre as respostas avaliadas no delineamento fatorial, para os compostos bioativos, apenas os PET apresentaram dados com distribuição normal (ver QUADRO 1 da seção 3.3), sendo, portanto, a única resposta avaliada quanto ao efeito das variáveis e à adequação do modelo de regressão linear.

Assim como ocorreu para os parâmetros físicos, foi encontrado coeficiente de determinação médio para o estudo dos efeitos das variáveis ($R^2 = 0,63933$) (TABELA 10). Também não houve efeito significativo para nenhuma das variáveis, além de não ter havido significância do modelo quando avaliado na ANOVA pelo teste F (TABELA 11).

Tabela 10 – Efeito da massa de casca de pitaiá (g) e do tempo de extração (s) sobre os PET de extrato liofilizado da EAM.

Variável dependente	Fatores	Efeitos	Erro padrão	t(10)	P	R ²
PET	Massa	29,2753	142,4605	0,205497	0,856202	0,63933
	Tempo	-22,5947	142,4605	-0,158604	0,888549	
	Massa x Tempo	256,1248	143,0036	1,791037	0,215168	

t: teste t de Student; R²: coeficiente de determinação; p: significância ao nível de 5%.
PET: polifenóis extraíveis totais.

Tabela 11 – Análise de variância do delineamento fatorial da EAM para os PET de extrato liofilizado.

Variável dependente	Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	Teste F	F (5%)
PET	Regressão	79548,658	3	26516,22	1,09	4,07
	Resíduo	48576,389	2	24288,19		
	Falta de ajuste	57,149	1	57,15	0,00	5,59
	Erro puro	48519,240	1	48519,24		
	Total	128125,046	5			

PET: polifenóis extraíveis totais.

3.3.3 Interação entre parâmetros do delineamento fatorial da EAM

Os resultados dos parâmetros avaliados na EAM foram submetidos à teste de correlação para verificar sua interação (TABELA 12).

Tabela 12 – Matriz de correlação entre parâmetros avaliados no delineamento fatorial da EAM.

	Visc.	L*	C*	h°	PET	Bc	Bx	BET
Visc.	1	-0,4286	0,4286	-0,0286	-0,1429	0,3143	0,3714	0,6000
L*		1	-0,8857**	-0,7714	-0,6000	-0,2000	-0,2571	-0,3143
C*			1	0,5429	0,2571	0,6000	0,2000	0,5429
h°				1	0,6571	-0,3143	-0,1429	-0,3143
PET					1	-0,3714	0,4286	-0,0857
Bc						1	0,2571	0,8286**
Bx							1	0,7143
BET								1

Visc.: viscosidade; L*: luminosidade; C*: croma; h°: ângulo Hue; PET: polifenóis extraíveis totais; Bc: betacianinas; Bx: betaxantinas; BET: betalaínas totais.

** Correlação significativa pelo teste de Spearman ($p < 0,05$).

De acordo com os coeficientes de correlação de Spearman (r_s) observados na Tabela 12, verifica-se que fortes interações foram alcançadas entre a luminosidade e o croma ($r_s = -0,8857$) e entre as Bc e as BET ($r_s = 0,8286$).

A relação fortemente negativa entre a luminosidade e o croma para essas amostras era esperada, uma vez que a saturação se relaciona positivamente com a concentração de pigmentos na amostra e que a luminosidade tem a tendência a ser maior quanto menos pigmentos a amostra possui (ver TABELA 6, da seção 3.3.1). A forte relação positiva das Bc com as BET também era prevista, porque as betacianinas compõem parte das betalaínas.

4 CONCLUSÃO

Observou-se que não foi possível otimizar o processo de EAM nas condições estudadas, sendo interessante estudos futuros com aplicação de condições distintas para obtenção de melhores resultados. Entretanto, os resultados alcançados nesta pesquisa mostraram que a qualidade física dos extratos foi melhor quando se utilizou maiores massas.

Também se verificou tendência de melhores condições de extração tanto para os compostos fenólicos quanto para as betalaínas. Assim, destacaram-se, para o primeiro grupo, os tratamentos de T6 (1,665 g e 60 s), T4 (2,00 g e 90 s) e T1 (1,33 g e 30 s); e para o segundo, os de T5 (1,665 g e 60 s) e T1 (1,33 g e 30 s).

Os extratos obtidos na extração assistida por micro-ondas apresentaram características vantajosas para aplicações futuras em produtos alimentícios. Pigmentos e compostos fenólicos foram extraídos eficientemente de casca de pitaiá aplicando processo de micro-ondas. Ressalta-se que foi possível verificar aproveitamento de subprodutos de pitaiá utilizando um processo simples e de baixo custo, devido à natureza do equipamento utilizado no estudo, oferecendo, assim, uma alternativa viável até mesmo para pequenos e médios produtores.

Portanto, os subprodutos de pitaiá (*Hylocereus polyrhizus*) produzida na Chapada do Apodi mostraram-se como matérias-primas promissoras para aproveitamento, sendo boas fontes para a extração de compostos de alto valor biológico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, W. C. D.; LOPES, C. D. O.; PINTO, K. M.; OLIVEIRA, L. A.; CARVALHO, G. B. M. D.; BARCELO, M. D. F. P. Características físico-químicas e atividade antioxidante total de pitaias vermelha e branca. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 71, n. 4, p. 656-661, 2012.
- ALVES, A. C. B.; MONTEIRO, L. B.; POMPEU, D. R. Otimização da extração sólido-líquido de compostos fenólicos totais e betalaínas da casca de frutos de pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 12, n. 1, p. 2556-2577, 2018.

ANNEGOWDA, H. V.; BHAT, R.; MIN-TZE, L.; KARIM, A. A.; MANSOR, S. M. Influence of sonication treatments and extraction solvents on the phenolics and antioxidants in star fruits. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 4, p. 510-514, 2012.

ARAÚJO, R. G.; RODRIGUEZ-JASSO, R. M.; RUIZ, H. A.; GOVEA-SALAS, M.; PINTADO, M. E.; AGUILAR, C. N. Process optimization of microwave-assisted extraction of bioactive molecules from avocado seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 154, s/n, p. 112623, 2020.

ARIVALAGAN, M.; KARUNAKARAN, G.; ROY, T. K.; DINSHA, M.; SINDHU, B. C.; SHILPASHREE, V. M.; SATISHA, G. C.; SHIVASHANKARA, K. S. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). **Food Chemistry**, v. 353, s/n, p. 129426, 2021.

ÁVILA-ROMÁN, J.; SOLIZ-RUEDA, J. R.; BRAVO, F. I.; ARAGONÈS, G.; SUÁREZ, M.; AROLA-ARNAL, A.; MULERO, M.; SALVADÓ, M.-J.; AROLA, L.; TORRES-FUENTES, C.; MUGUERZA, B. Phenolic compounds and biological rhythms: Who takes the lead?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, s/n, p. 77-85, 2021.

BAI, X.; ZHOU, T.; LAI, T.; ZHANG, H. Optimization of the Microwave-Assisted Extraction of Polyphenols from Red Pitaya Peel using Response Surface Methodology. **Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 77, s/n, p. 419-424, 2018.

BALTACIOĞLU, H.; BALTACIOĞLU, C.; OKUR, I.; TANRIVERMIŞ, A.; YALIÇ, M. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. **Vibrational Spectroscopy**, v. 113, s/n, p. 103204, 2021.

BENMEZIANE, A.; BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L.; MAPELLI-BRAHM, P.; KHODJA, N. K.; REMINI, H.; MADANI, K.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Extraction of carotenoids from cantaloupe waste and determination of its mineral composition. **Food Research International**, v. 111, s/n, p. 391-398, 2018.

CAI, H.; YOU, S.; XU, Z.; LI, Z.; GUO, J.; REN, Z.; FU, C. Novel extraction methods and potential applications of polyphenols in fruit waste: a review. **Journal of Food Measurement and Characterization**, s/v, s/n, p. 1-12, 2021.

CARDOSO-UGARTE, G. A.; SOSA-MORALES, M. E.; BALLARD, T.; LICEAGA, A.; SAN MARTÍN-GONZÁLEZ, M. F. Microwave-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 276-282, 2014.

CASTELLANOS-SANTIAGO, E.; YAHIA, E. M. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 14, p. 5758-5764, 2008.

COMUNIAN, T. A.; SILVA, M. P.; SOUZA, C. J. F. The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. **Trends in Food Science & Technology**, v. 108, s/n, p. 269-280, 2021.

CUNHA, L. C. M.; MONTEIRO, M. L. G.; COSTA-LIMA, B. R.; GUEDES-OLIVEIRA, J. M.; ALVES, V. H.; ALMEIDA, A. L.; TONON, R. V.; ROSENTHAL, R.; CONTE-JUNIOR, C. A. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on color, texture and oxidative stability of refrigerated ground pork patties submitted to high pressure processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 49, s/n, p. 136-145, 2018.

DE CAMARGO, A. C.; SCHWEMBER, A. R.; PARADA, R.; GARCIA, S.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; FRANCHIN, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SHAHIDI, F. Opinion on the hurdles and potential health benefits in value-added use of plant food processing by-products as sources of phenolic compounds. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 11, p. 3498, 2018.

DE LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; COHEN, K. D. O.; GUIMARAES, T. G. Physico-chemical characteristics, polyphenols and yellow flavonoids in fruits of commercial and wild pitaya species from the Brazilian Savannas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 565-570, 2013.

FAN, P.; HUBER, D. J.; SU, Z.; HU, M.; GAO, Z.; LI, M.; SHI, X.; ZHANG, Z. Effect of postharvest spray of apple polyphenols on the quality of fresh-cut red pitaya fruit during shelf life. **Food Chemistry**, v. 243, s/n, p. 19-25, 2018.

FATHORDOOBADY, F.; MIRHOSSEINI, H.; SELAMAT, J.; MANAP, M. Y. A. Effect of solvent type and ratio on betacyanins and antioxidant activity of extracts from *Hylocereus polyrhizus* flesh and peel by supercritical fluid extraction and solvent extraction. **Food Chemistry**, v. 202, s/n, p. 70-80, 2016.

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

FERREIRA, M. D.; SPRICIGO, P. C. Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. **Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE)**, s/v, s/n, s/p, 2017.

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 by-products using microwave-assisted extraction. **Food Chemistry**, v. 230, s/n, p. 463-474, 2017.

GODOS, J.; SINATRA, D.; BLANCO, I.; MULÈ, S.; LA VERDE, M.; MARRANZANO, M. Association between dietary phenolic acids and hypertension in a mediterranean cohort. **Nutrients**, v. 9, n. 10, p. 1069, 2017.

GUDIÑA, E. J.; RODRIGUES, A. I.; DE FREITAS, V.; AZEVEDO, Z.; TEIXEIRA, J. A.; RODRIGUES, L. R. Valorization of agro-industrial wastes towards the production of rhamnolipids. **Bioresource Technology**, v. 212, s/n, p. 144-150, 2016.

HUA, Q.; CHEN, C.; ZUR, N. T.; 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 and Biochemistry**, v. 126, s/n, p. 117-125, 2018.

JANI, G. K.; SHAH, D. P.; PRAJAPATI, V. D.; JAIN, V. C. Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. **Asian J Pharm Sci**, v. 4, n. 5, p. 309-323, 2009.

JESUS, M. S.; GENISHEVA, Z.; ROMANÍ, A.; PEREIRA, R. N.; TEIXEIRA, J. A.; DOMINGUES, L. Bioactive compounds recovery optimization from vine pruning residues using conventional heating and microwave-assisted extraction methods. **Industrial Crops and Products**, v. 132, s/n, p. 99-110, 2019.

KABIR, F.; TOW, W. W.; HAMAUZU, Y.; KATAYAMA, S.; TANAKA, S.; NAKAMURA, S. Antioxidant and cytoprotective activities of extracts prepared from fruit and vegetable wastes and by-products. **Food Chemistry**, v. 167, s/n, p. 358-362, 2015.

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

KUSZNIEREWICZ, B.; MRÓZ, M.; KOSS-MIKOŁAJCZYK, I.; NAMIEŚNIK, J. Comparative evaluation of different methods for determining phytochemicals and antioxidant activity in products containing betalains—verification of beetroot samples. **Food Chemistry**, s/v, s/n, p. 130132, 2021.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.

LEONG, H. Y.; OOI, C. W.; LAW, C. L.; JULKIFLE, A. L.; KATSUDA, T.; SHOW, P. L. Integration process for betacyanins extraction from peel and flesh of *Hylocereus polyrhizus* using liquid biphasic electric flotation system and antioxidant activity evaluation. **Separation and Purification Technology**, v. 209, s/n, p. 193-201, 2019.

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, s/n, p. 546-558, 2018.

LI, X.; CHEN, F.; LI, S.; JIA, J.; GU, H.; YANG, L. An efficient homogenate-microwave-assisted extraction of flavonols and anthocyanins from blackcurrant marc: Optimization using combination of Plackett-Burman design and Box-Behnken design. **Industrial Crops and Products**, v. 94, s/n, p. 834-847, 2016.

LIRA, S. M.; DIONÍSIO, A. P.; HOLANDA, M. O.; MARQUES, C. G.; DA SILVA, G. S.; CORREA, L. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; REBOUÇAS, E. de L.; GUEDES, J. A. C.; OLIVEIRA, D. F. de; GUEDES, M. I. F.; ZOCCOLO, G. J. Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose) by UPLC-QTOF-MSE and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish. **Food Research International**, v. 127, s/n, p. 108701, 2020.

- MACHADO, A. P. D. F.; PASQUEL-REÁTEGUI, J. L.; BARBERO, G. F.; MARTÍNEZ, J. Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: a comparison with conventional methods. **Food Research International**, v. 77, s/n, p. 675-683, 2015.
- MAKRIS, D. P.; BOSKOU, G.; ANDRIKOPOULOS, N. K. Recovery of antioxidant phenolics from white vinification solid by-products employing water/ethanol mixtures. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 15, p. 2963-2967, 2007.
- MATHARU, A. S.; DE MELO, E. M.; HOUGHTON, J. A. Opportunity for high value-added chemicals from food supply chain wastes. **Bioresource Technology**, v. 215, s/n, p. 123-130, 2016.
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.
- MELGAR, B.; DIAS, M. I.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C.; RODRIGUEZ-LOPEZ, A. D.; GARCIA-CASTELLO, E. M. Ultrasound and microwave assisted extraction of *Opuntia* fruit peels biocompounds: Optimization and comparison using RSM-CCD. **Molecules**, v. 24, n. 19, p. 3618, 2019.
- MELLINAS, A. C.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Optimization of microwave-assisted extraction of cocoa bean shell waste and evaluation of its antioxidant, physicochemical and functional properties. **LWT-Food Science and Technology**, v. 127, s/n, p. 109361, 2020.
- MELLO, F. R. D.; 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, n. 2, p. 323-328, 2015.
- MORENO-LEY, C.; OSORIO-REVILLA, G.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, D.; RAMOS-MONROY, O.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. Anti-inflammatory activity of betalains: A comprehensive review. **Human Nutrition & Metabolism**, v. 25, s/n, p. 200126, 2021.
- OBANDA, M.; OWUOR, P. O.; TAYLOR, S. J. Flavanol composition and caffeine content of green leaf as quality potential indicators of Kenyan black teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209-215, 1997.
- PANZELLA, L.; MOCCIA, F.; NASTI, R.; MARZORATI, S.; VEROTTA, L.; NAPOLITANO, A. Bioactive phenolic compounds from agri-food wastes: An update on green and sustainable extraction methodologies. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, s/n, s/p, 2020.
- PAŠKO, P.; GALANTY, A.; ZAGRODZKI, P.; KU, Y. G.; LUKSIRIKUL, P.; WEISZ, M.; GORINSTEIN, S. Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits—A comparative study with advanced chemometric analysis. **Food Bioscience**, v. 40, s/n, p. 100888, 2021.
- ROCHA, J. F.; PIMENTEL, R. R.; MACHADO, S. R. Estruturas secretoras de mucilagem em *Hibiscus pernambucensis* Arruda (Malvaceae): distribuição, caracterização morfoanatômica e histoquímica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 751-763, 2011.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. 2. ed. Campinas: Editora Casa do Pão, 2009.

SANTOS, G. B. M.; DIONÍSIO, A. P.; MAGALHÃES, H. C. R.; de ABREU, F. A. P.; LIRA, S. M.; de LIMA, A. C. V.; SILVA, G. S. da; GUEDES, J. A. C.; ARAUJO, I. M. da S.; ARTUR, A. G.; PONTES, D. F.; ZOCCOLO, G. J. Effects of processing on the chemical, physicochemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (FAC Weber) Britton & Rose). **Food Research International**, v. 127, s/n, p. 108710, 2020.

SHUNAN, D.; YU, M.; GUAN, H.; ZHOU, Y. Neuroprotective effect of Betalain against AlCl₃-induced Alzheimer's disease in Sprague Dawley Rats via putative modulation of oxidative stress and nuclear factor kappa B (NF-κB) signaling pathway. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 137, s/n, p. 111369, 2021.

SINGH, A.; GANESAPILLAI, M.; GNANASUNDARAM, N. Optimizaton of extraction of betalain pigments from beta vulgaris peels by microwave pretreatment. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2017. p. 032004.

SINHA, K.; SAHA, P. D.; DATTA, S. Response surface optimization and artificial neural network modeling of microwave assisted natural dye extraction from pomegranate rind. **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 408-414, 2012.

STATSOFT. **Statistica for Windows** - computer programe manual, versão 7.0. Tulsa: Statsoft Inc, 2004.

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

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Microwave assisted extraction process of betalain from dragon fruit and its antioxidant activities. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 16, n. 1, p. 41-48, 2017.

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

TSAO, R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. **Nutrients**, v. 2, n. 12, p. 1231-1246, 2010.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) (2021). **Food Waste Index Report 2021**. Nairobi. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2021.

UTPOTT, M. **Desenvolvimento de farinha de pitaya de polpa vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) e microcápsulas de betalaínas como ingredientes alimentares**. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

VALANCIENE, E.; JONUSKIENE, I.; SYRPAS, M.; AUGUSTINIENE, E.; MATULIS, P.; SIMONAVICIUS, A.; MALYS, N. Advances and prospects of phenolic acids production, biorefinery and analysis. **Biomolecules**, v. 10, n. 6, p. 874, 2020.

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

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, n. 6, p. 1114, 2019.

WYBRANIEC, S.; MIZRAHI, Y. Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus* cacti. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 6086-6089, 2002.

**APÊNDICE A – QUADRO RESUMO DE TRABALHOS DOS ÚLTIMOS 5 ANOS COM EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS
FENÓLICOS E BETALAÍNAS DE PITAIA CITADOS NA DISSERTAÇÃO**

Espécie/ Variedade	Local de origem	Parte da fruta	Compostos	Teor dos compostos (mg.100 g⁻¹)	Massa fresca ou seca	Tecnologia/ Procedimento de extração	Condições de extração	Método de detecção/ quantificação	Referência
NE	Índia	Casca	Betalaínas	0,36 a 0,90*	Massa seca	EAM	Massa: 10 a 30 g; solvente: água; equipamento: forno de micro-ondas VCX 400; temperatura: 25 a 55 °C; tempo de extração: 2 a 10 min; Potência: 100 W	Espectrofotometria	Thirugnanasambandham, Sivakumar, 2017
<i>Hylocereus undatus</i> (PVPB) e <i>Hylocereus megalanthus</i> (PA)	Vietnã (PVPB) e Colômbia (PA)	Casca	Betacianinas (Bc) e compostos fenólicos (CF)	PVPBBc = 10,0 a 166,0; PVPBCF = 239,0 a 1014,0; PACF = 321,0 a 657,0	Massa seca	EAM	Razão sólido/solvente: 1/50 a 1/150 g/mL; solvente: água; equipamento: micro- ondas de alto desempenho MLS 1200 Mega; temperatura: 25 a 75 °C; tempo de extração: 5 a 65 min; Potência: 600 W	CLAE DAD	Ferreres <i>et al.</i> , 2017
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Brasil	Casca	Betalaínas (B) e fenólicos totais (FT)**	B = 5,92 a 11,54; FT = 11,41 a 28,97	Massa fresca	Extração sólido-líquido	Razão sólido/líquido: 1/25 g/mL; solvente: etanol e ácido clorídrico; proporção de etanol: 0 a 20%; proporção de ácido clorídrico: 0,0 a 0,05%;	Espectrofotometria	Alves, Monteiro e Pompeu, 2018

							temperatura: 25,0 a 55,0 °C		
<i>Hylocereus undatus</i>	China	Casca	Polifenóis totais**	39,1 a 462,1	Massa seca	EAM	Razão sólido/solvente: 1/20 a 1/40 g/mL; solvente: etanol; concentração do solvente: 40 a 80%; equipamento: micro-ondas NJC 03-2; temperatura: 30 a 50 °C; tempo de extração: 10 a 50 min; Potência: 200 a 600 W	Espectrofotometria	Bai <i>et al.</i> , 2018
<i>Hylocereus costaricensis</i>	Brasil	Casca	Fenólicos totais**	275,0	Massa seca	EAM	Razão sólido/solvente: 1/50 g/mL; solvente: metanol 40%; equipamento: micro-ondas DGT 100 Plus; tempo de extração: 30 s Potência: 400 W;	Espectrofotometria	Cunha <i>et al.</i> , 2018
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Malásia	Casca	Betacianinas totais	13,78 a 25,86*	Massa seca	EFS	Razão sólido/solvente: 5/50 (g/mL); solvente: CO ₂ liquefeito; taxa de fluxo do solvente: 2 mL/min; cossolvente etanol 10%; quantidade de cossolvente: 10-20%; temperatura: 40 a 60°C; tempo: 1,5 h; pressão: 20 a 30 MPa	Espectrofotometria	Fathordoobady <i>et al.</i> , 2019
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Malásia	Sementes	Fenólicos totais**; flavonoides totais (FIT)***	FT = 5.200,0 a 14.400,00 FIT = 269,0 a 1.067,0	Massa seca	Maceração com agitação	Massa: 3 g; solvente: etanol; concentração do solvente: 53,18 a 86,82%;	Leitor de microplacas UV-VIS	Zulkifli <i>et al.</i> , 2020

							temperatura: 26,36 a 93,64 °C; tempo de extração: 9,54 a 110,45 min		
<i>Hylocereus undatus</i>	NE	Casca	Betacianinas e fenólicos totais**	Bc = 101,8 a 160,2; FT = 450,9 a 853,6	Massa seca	EAU	Razão sólido/solvente: 1/10 a 1/30 g/mL; solvente: etanol; concentração do solvente: 30 a 60%; equipamento: homogeneizador ultrassônico com sonda; temperatura: 30 a 70 °C; tempo de extração: 5 a 25 min; Potência: 100 W	Espectrofotometria	Raj e Dash, 2020
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	China	Casca	Betacianinas	56,0	Massa fresca	Maceração sem agitação	Razão entre sólido/solvente: 3/8 g/mL; solvente: etanol 30%; temperatura: 4 °C; tempo: durante a noite	Espectrofotometria	Qin <i>et al.</i> , 2020
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Taiwan	Casca	Betacianinas e polifenóis totais**	Bc = 630,0; PT = 3.360,0	Massa seca	Maceração com agitação	Razão entre sólido/solvente: 1/15 (p/v); solvente: etanol 50%; equipamento: agitador magnético; velocidade: 300 rpm; temperatura: ambiente; tempo: 30 min	Espectrofotometria	Yeh <i>et al.</i> , 2020
<i>Hylocereus monacanthus</i>	Brasil	Polpa	Fenólicos totais**	268,13	Massa seca	CEP e maceração	Razão sólido/solvente: 1/15 g/mL; solvente: água; 1ª agitação (antes do CEP): 10 min a 50 rpm; CEP: 5000 V, 10 Hz, 200 pulsos por 20 s;	Espectrofotometria	Bellucci <i>et al.</i> , 2021

							2ª agitação (depois do CEP): 120 min a 150 rpm		
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Indonésia Espanha México	NE	Betacianinas	Indonésia = 84,0; Espanha = 131,0; México = 93,0	Massa seca	EAU	Razão entre sólido/solvente: 0,1/10 a 0,3/10 g/mL; solvente: metanol concentração do solvente: 20 a 80%; equipamento: aparelho ultrassônico UP200S; temperatura: 10 a 60 °C; potência: 20 a 70%; ciclo: 0,3 a 0,7 s ⁻¹ ; Frequência: 24 kHz	Espectrofotometria	Carrera <i>et al.</i> , 2021
<i>Hylocereus undatus</i>	Turquia	Polpa e casca	Fenólicos totais** e flavonoides totais***	FTP = 11,03 a 17,92; FTC = 56,78 a 71,54; FITP = 13,26 a 19,36; FITC = 95,33 a 115,71	Massa fresca	EAU sob vácuo	Razão sólido/solvente: 1/1 (P) e 1/4 (C) g/mL; solvente: metanol 80%; equipamento: banho ultrassônico; tempo de extração: 5 a 30 min; Potência: 150 W; Frequência: 35 kHz; Sob vácuo (12 mbar)	Espectrofotometria	Uslu e Özcan, 2021
<i>Hylocereus undatus</i>	Turquia	Polpa e casca	Fenólicos totais** e flavonoides totais***	FTP = 10,77 a 14,19; FTC = 42,21 a 65,38; FITP = 11,02 a 14,69; FITC = 72,10 a 108,10	Massa fresca	EAU	Relação sólido/solvente: 1/1 (P) e 1/4 (C) g/mL; solvente: metanol 80%; equipamento: banho ultrassônico; tempo de extração: 5 a 30 min; Potência: 150 W; Frequência: 35 kHz; condições atmosféricas	Espectrofotometria	Uslu e Özcan, 2021
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Brasil	Polpa	Betacianinas e	Bc = 7,09 a 250,0;	Massa fresca	Ultrassom (U) e maceração	Razão sólido/solvente: 1/10 g/mL;	Leitor de microplacas	Zitha <i>et al.</i> , 2022

			betaxantinas (Bx)	Bx = 4,24 a 59,87		com agitação (MA)	solvente: metanol 80%; temperatura: ambiente; tempo de extração: 10 min (U) e 20 min (MA)		
<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Brasil	Polpa	Fenólicos totais**	377,59 a 434,26 (ensaio de Folin-Ciocalteu) e 234,85 a 385,31 (ensaio Fast Blue BB)	Massa fresca	Sonicação em ultrassom	Relação sólido/solvente: 1/4 g/mL; solvente: metanol 50% e acetona 70%; equipamento: banho ultrassônico; tempo de extração: 30 min	Leitor de microplacas de 96 poços	Zitha <i>et al.</i> , 2022
<i>Hylocereus costaricensis</i>	Espanha	Casca	Betacianinas totais	2.266,0 a 3.972,0	Massa seca	EAU	Razão sólido/solvente: 5/1 g/L; solvente: etanol 10%; tempo de extração: 1 a 50 min; Potência: 5 a 500 W	Cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos alinhado com detector de massa linear íon trap	Roriz <i>et al.</i> , 2022

* mg.100 mL⁻¹; ** mg equivalente de ácido gálico.100 g⁻¹; *** mg equivalente de quercetina.100 g⁻¹.

NE = não especificado; EAM = extração assistida por micro-ondas; PVPB = pitiaia vermelha da polpa branca; PA = pitiaia amarela; Bc = betacianinas; CF = compostos fenólicos; CLAE DAD = cromatografia líquida de alta eficiência com detector de arranjo de diodos; B = betalaínas; FT = fenólicos totais; EFS = Extração de fluido supercrítico; FIT = flavonoides totais; EAU = Extração assistida por ultrassom; PT = polifenóis totais; CEP = Campo elétrico pulsado; P = polpa; C = casca; Bx = betaxantinas; U = ultrassom; MA = maceração com agitação.

**APÊNDICE B – EXTRATO PREPARADO A PARTIR DE CASCA DE PITAIA
LIOFILIZADA, UTILIZADO PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS BIOATIVOS**



APÊNDICE C – EXTRATO LÍQUIDO DA EAM



APÊNDICE D – EXTRATO LIOFILIZADO DA EAM



APÊNDICE E – HISTOGRAMA DA ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO DE DADOS DO PARÂMETRO L*

