



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

Encapsulamento de betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *Bougainvillea glabra* para uso como corante natural em alimentos

FERNANDA KUHN

Porto Alegre

2021

FERNANDA KUHN

Encapsulamento de betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *Bougainvillea glabra* para uso como corante natural em alimentos

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como um dos requisitos para a obtenção do grau de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Caciano Pelayo Zapata Noreña

Porto Alegre

2021

CIP - Catalogação na Publicação

Kuhn, Fernanda

Encapsulamento de betalainas e compostos fenólicos das brácteas da *Bougainvillea glabra* para uso como corante natural em alimentos / Fernanda Kuhn. -- 2021. 71 f.

Orientador: Caciano Pelayo Zapata Noreña.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Encapsulamento. 2. Betalainas; Compostos fenólicos. 3. *Bougainvillea glabra*. 4. Extração "verde". 5. Digestão gastrointestinal in vitro. I. Pelayo Zapata Noreña, Caciano, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

Autora: Fernanda Kuhn

Título da Tese: **Encapsulamento de betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *Bougainvillea glabra* para uso como corante natural em alimentos**

Submetida como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
DOUTORA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Aprovada em:/...../.....

Homologada em:/...../.....

Pela Banca Examinadora:

Por: _____

Prof. Dr. Caciano Pelayo Zapata Noreña
Orientador PPGCTA-UFRGS

Prof. Dr. Eliseu Rodrigues
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Tecnologia de Alimentos
PPGCTA-UFRGS

Prof. Dra. Juliane Elisa Welke
Banca - UFRGS

Prof. Dra. Simone Hickmann Flôres
Diretora do Instituto de Ciência e Tecnologia
de Alimentos
ICTA-UFRGS

Prof. Dra. Elessandra da Rosa Zavareze
Banca - UFPel

Prof. Dra. Renata Dias de Mello Castanho
Amboni
Banca - UFSC

AGRADECIMENTOS

Ninguém consegue nada sozinho, por isso a realização deste trabalho só foi possível com a ajuda de muitas pessoas importantes para mim, as quais serei sempre grata.

Agradeço à minha mãe, por sempre me incentivar a estudar e a fazer o Doutorado; à tia Carmem e tio Airton por sempre me ajudarem de todas as formas; à tia Nati por toda a ajuda, desde quando cheguei a Porto Alegre; ao Luiz Rodrigo, meu companheiro e parceiro de todas as horas.

Agradeço muitíssimo aos meus colegas e amigos do ICTA, pessoas que tive a sorte de conviver, compartilhar, aprender. Pessoas que tornaram essa jornada mais “leve” e alegre e que certamente levarei para toda vida. Mari, Eli, Eduarda, Andreia Loleny, Luana, Júnior, Liliana, AlexSandra, Camila, Alessandra... Ao professor Caciano, minha gratidão pelos conselhos, dedicação e por ter compartilhado todo seu conhecimento.

Meus agradecimentos à CAPES, CNPq, e FAPERGS pelo apoio financeiro. À UFRGS, ICTA e ao PPGCTA por toda a estrutura e suporte para a realização do Doutorado.

"Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino" (**Leonardo da Vinci**).

RESUMO

A *Bougainvillea glabra* é uma planta nativa da América do Sul e suas brácteas são uma fonte pouco explorada de compostos fenólicos e principalmente de betalaínas. As betalaínas vêm sendo amplamente estudadas para uso como corante natural ou em alimentos funcionais devido às suas propriedades benéficas, tais como atividade anti-inflamatória, antioxidante e anticarcinogênica. Neste contexto, a etapa inicial deste trabalho teve por objetivo a extração de betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *B. glabra* utilizando métodos de extração “verde”, como a Extração Assistida por Micro-ondas (EAM) e Extração Assistida por Ultrassom (EAU), usando água como solvente. O uso da EAM resultou em menores tempos de extração proporcionando altos teores de betalaínas, fenólicos, capacidade antioxidante por ABTS e elevados percentuais de captura de radicais hidroxil. O ensaio de eletroforese revelou que o extrato obtido por EAU foi mais eficiente na proteção do DNA contra a ação dos radicais livres. A maior parte das betalaínas e fenólicos identificados por HPLC-MS nas brácteas da *B. glabra* foram de betacianinas aciladas e de flavonoides, respectivamente. Com base nos resultados, a melhor condição de extração obtida, EAM a 600 W × 13 min, foi selecionada para a segunda etapa do trabalho que consistiu em manter a estabilidade dos compostos fenólicos e betalaínas do extrato da *B. glabra* através do encapsulamento por atomização e liofilização utilizando as fibras prebióticas povidona (PD) e inulina (IN) e a albumina do ovo (ALB) como encapsulantes. O tipo de material encapsulante e os métodos de secagem resultaram em pós com diferentes características físico-químicas, permitindo diferentes aplicações. Na terceira etapa do trabalho, o extrato de *B. glabra* foi encapsulado por gelificação iônica com a adição de proteína isolada do soro do leite e albumina de ovo com o intuito de reforçar a estrutura das esferas. A adição das proteínas resultou nas maiores eficiências de encapsulamento de fenólicos e betalaínas. A caracterização estrutural das esferas demonstrou que a microestrutura de Ca-alginato foi afetada pelas proteínas, principalmente pela albumina. A adição das proteínas também resultou em esferas com diferentes propriedades mecânicas, favorecendo suas diferentes aplicações. A última etapa teve como objetivo a avaliação da estabilidade dos pós, produzidos na segunda etapa, que apresentaram os maiores teores de compostos fenólicos e betalaínas, bem como a simulação da digestão gastrointestinal. O pó atomizado com PD e os pós liofilizados PD, IN e PD+IN foram submetidos a umidade relativa de 43,2% e temperaturas de 30, 40 e 50 °C durante 42 dias. Apesar da acentuada degradação de fenólicos e betacianinas a 50 °C, retenções de 48 a 64% foram obtidas ao final do armazenamento. O pó liofilizado com PD apresentou maior estabilidade em temperaturas elevadas. Na digestão gastrointestinal, a maior liberação e estabilidade de betacianinas e fenólicos ocorreu na fase gástrica e de forma mais lenta nos pós contendo IN. No geral, de acordo com os dados obtidos, o pó liofilizado com PD e a combinação de PD+IN apresentaram os melhores resultados por conferir maior estabilidade às betacianinas e fenólicos das brácteas da *B. glabra*.

Palavras-chave: *Bougainvillea glabra*, extração “verde”, betalaínas, encapsulamento, estabilidade, digestão gastrointestinal *in vitro*.

ABSTRACT

Bougainvillea glabra is a native plant of South America and its bracts are an underexploited source of phenolic compounds and mainly of betalains. Betalains have been widely studied for use as a natural dye or in functional foods due to their health benefits, such as anti-inflammatory, antioxidant, and anticarcinogenic properties. In this context, the initial step of this work aimed to extract betalains and phenolic compounds from *B. glabra* bracts using “green” extraction methods, such as Microwave-Assisted Extraction (MAE) and Ultrasound-Assisted Extraction (UAE). EAM resulted in shorter extraction times providing high contents of betalains, phenolics, antioxidant capacity by ABTS, and high percentages of hydroxyl radicals scavenging. The electrophoresis assay revealed that the extract obtained by UAE was more efficient in protecting the DNA against the action of free radicals. Most betalains identified in *B. glabra* bracts by HPLC-MS were acylated betacyanins and most phenolics were flavonoids. Based on the results, the best extraction condition obtained, EAM at 600 W × 13 min, was selected for the second step of the work, which consisted of maintaining the stability of the phenolic compounds and betalains from *B. glabra* extract through encapsulation by spray drying and freeze drying using the prebiotic fibers polydextrose (PD) and inulin (IN), and egg albumin (ALB) as encapsulating materials. The kind of encapsulating material and drying methods resulted in powders with different physicochemical characteristics, allowing different applications. In the third step of the work, the *B. glabra* bracts extract was encapsulated by ionic gelation with the addition of whey protein isolate and egg albumin to reinforce the beads structure. The addition of proteins resulted in the highest encapsulation efficiencies of phenolics and betalains. The structural characterization of the beads demonstrated that the microstructure of Calcium alginate was affected by proteins, mainly by albumin. The addition of proteins also resulted in beads with different mechanical properties, enabling their different applications. The aim of the last step of this work was to evaluate the stability of the *B. glabra* powders, produced in the second step, which showed the highest contents of phenolic compounds and betalains, as well as simulating the gastrointestinal digestion. The spray dried powder with PD as encapsulating material and the freeze dried powders with PD, IN and PD+IN were subjected to a relative humidity of 43.2% and temperatures of 30, 40 and 50 °C for 42 days. Despite the accentuated degradation of phenolics and betacyanins at 50 °C, retentions of 48 to 64% were obtained at the end of storage. The freeze dried powder with PD showed the highest stability at high temperatures. In the gastrointestinal digestion, the greatest release and stability of betacyanins and phenolics occurred in the gastric phase and more slowly in powders containing IN. In general, according to the data obtained, the freeze dried powder with PD and the combination of PD+IN presented the best results for providing greater stability to the betacyanins and phenolics from *B. glabra* bracts.

Keywords: *Bougainvillea glabra*, green extraction, betalains, encapsulation, stability, *in vitro* gastrointestinal digestion.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
OBJETIVOS	14
Objetivo geral.....	14
Objetivos específicos.....	14
CAPÍTULO 1. Revisao Bibliográfica	15
1. Betalaínas.....	15
1.1. Características e estrutura química.....	15
1.2. Fontes de betalaínas.....	17
2. Compostos fenólicos.....	19
3. <i>Bougainvillea glabra</i>	20
4. Métodos de extração de betalaínas e compostos fenólicos.....	22
4.1. Extração Assistida por Ultrassom (EAU).....	22
4.2. Extração Assistida por Micro-ondas (EAM).....	25
5. Encapsulamento de ingredientes alimentícios.....	27
5.1. Encapsulamento por Atomização (<i>Spray drying</i>).....	27
5.2. Encapsulamento por liofilização (<i>Freeze drying</i>).....	29
5.3. Encapsulamento por gelificação iônica.....	31
6. Materiais de encapsulamento.....	33
6.1. Polidextrose.....	34
6.2. Inulina.....	35
6.3. Albumina do ovo.....	37
6.4. Proteína isolada do soro do leite.....	38
CAPÍTULO 2. Artigo 1. Evaluation of green extraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity from <i>Bougainvillea glabra</i> bracts	40
CAPÍTULO 3. Artigo 2. Behavior of inulin, polydextrose, and egg albumin as carriers of <i>Bougainvillea glabra</i> bracts extract: Rheological performance and powder characterization	41
CAPÍTULO 4. Artigo 3. Influence of egg albumin and whey protein in the co-encapsulation of betalains and phenolic compounds from <i>Bougainvillea glabra</i> bracts in Ca(II)-alginate beads	42

CAPÍTULO 5. Artigo 4. Effect of storage temperature and gastrointestinal digestion on betacyanins and phenolic compounds from encapsulated <i>Bougainvillea glabra</i> bracts extract.....	43
CAPÍTULO 6.	44
6.1. Discussão geral.....	44
6.2. Conclusões.....	51
6.3. Perspectivas.....	53
REFERÊNCIAS.	54

INTRODUÇÃO

A conscientização dos consumidores sobre a importância de uma alimentação mais saudável e o interesse pelos aspectos funcionais, nutricionais e de segurança alimentar vêm resultando no aumento do consumo de pigmentos naturais, tais como as betalaínas. Betalaínas são pigmentos altamente hidrossolúveis, atóxicos, derivados de algumas plantas e fungos e que atualmente vem ganhando popularidade para utilização como corantes naturais na indústria de alimentos. Embora as betalaínas da beterraba sejam um dos corantes alimentícios mais utilizados, esta classe de compostos não é tão estudada em comparação a outros pigmentos naturais, como antocianinas, carotenoides ou clorofilas (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015; KHAN, 2016; MARTINS et al., 2017).

Além das suas propriedades corantes, as betalaínas têm atraído o interesse dos pesquisadores e consumidores devido às propriedades benéficas à saúde associadas ao seu consumo. Alguns efeitos atribuídos aos referidos pigmentos incluem: capacidade antioxidante, efeito antiproliferativo em células carcinogênicas, efeito cardioprotetor, anti-inflamatório e antimicrobiano (GUERRERO-RUBIO et al., 2020; MADADI et al., 2020; VIDAL et al., 2014).

Mesmo sendo a beterraba a principal fonte de betalaínas explorada comercialmente, seu uso pode afetar negativamente as características sensoriais das preparações alimentícias, conferindo-lhes sabor e aroma terrosos devido à presença de geosminas e pirazinas. Outra preocupação que tem sido levantada com relação ao uso da beterraba como corante alimentício é o elevado teor de nitrato presente no tubérculo. Em função destas características, são necessários processos adicionais como filtração, clarificação e tratamento enzimático para o uso do extrato da beterraba (GONÇALVES et al., 2015; MEREDDY et al., 2017; VERGARA et al., 2015). Por esta razão, um número maior de pesquisas é necessário para o uso de novas fontes de betalaínas, possibilitando uma alternativa ao uso da beterraba e o aumento da qualidade dos produtos em que serão aplicadas.

Como fonte de betalaínas, destaca-se a *Bougainvillea glabra*, uma planta nativa da América do Sul, encontrada em vários estados brasileiros, inclusive no Rio Grande do Sul. Além de apresentar benefícios à saúde, o pigmento extraído das brácteas da *B. glabra* possui um grande potencial para ser utilizado como corante alimentício ou em alimentos nutracêuticos e funcionais (MARAN; PRIYA; NIVETHA, 2015; RAHIMI et al., 2018; SALEEM et al., 2019). Além das betalaínas, nas brácteas da *B. glabra* também são

encontrados compostos fenólicos, tais como flavonoides e ácidos hidroxicinâmicos (KAISOON; KONCZAK; SIRIAMORNPUN, 2012; MARKANDAN et al., 2016).

Para a extração de betalaínas e compostos fenólicos de fontes vegetais as técnicas de extração assistida por ultrassom e a extração assistida por micro-ondas apresentam-se como alternativas promissoras aos métodos convencionais. Estas técnicas podem aumentar o rendimento dos compostos extraídos, encurtar o tempo de extração, diminuir ou evitar o uso de solventes orgânicos, além de aumentar a qualidade dos extratos (CARDOSO-UGARTE et al., 2014; LAQUI-VILCA et al., 2018).

A estabilidade dos compostos bioativos após sua extração é um parâmetro importante a ser considerado quando se utiliza esses compostos em alimentos. Neste contexto, o encapsulamento por atomização, liofilização e gelificação iônica podem ser empregados para aumentar a estabilidade das betalaínas e compostos fenólicos frente a fatores adversos como pH, umidade, exposição à luz, oxigênio e temperaturas elevadas, além de permitir a liberação controlada destes compostos (KHAN, 2016; OTÁLORA et al., 2016).

O encapsulamento por atomização apresenta baixo custo operacional, permite uma produção em larga escala em modo contínuo com alta eficiência de encapsulamento e boa estabilidade do produto final. Já a liofilização é um método de encapsulamento que consiste em remover a umidade do produto através da sublimação; não emprega altas temperaturas, preservando conseqüentemente, a cor e as propriedades funcionais do produto. Outro método comumente utilizado para o encapsulamento de compostos bioativos, devido à sua simplicidade, baixo custo e por não empregar altas temperaturas é a gelificação iônica. Neste método, estruturas esféricas de gel são formadas, onde o composto bioativo encontra-se no interior da matriz polimérica (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA ISHWARYA, 2015; FANG; BANDARI, 2010; KUROZAWA; HUBINGER, 2017).

A escolha do material de parede ou encapsulante é muito importante para a eficiência do processo de encapsulamento e estabilidade do produto final. Algumas características do material de parede devem ser consideradas, incluindo solubilidade, baixa viscosidade, biodegradabilidade, capacidade de formar filme, preço competitivo, resistência ao trato gastrointestinal e biocompatibilidade com o material a ser encapsulado (AGUIAR, ESTEVINHO; SANTOS, 2016; LABUSCHAGNE, 2018).

A inulina e a polidextrose são biopolímeros, não digeríveis pelo intestino humano, classificados como fibras alimentares e prebióticos. São degradadas apenas por certas bactérias presentes no cólon, as bifidobactérias. A estimulação seletiva dessas bactérias

intestinais fornece vários benefícios à saúde do hospedeiro, como redução do risco de câncer de cólon, redução de bactérias patogênicas no intestino e modulação de funções fisiológicas como a absorção de cálcio. Estes biopolímeros podem ser empregados como materiais de parede no processo de encapsulamento, resultando em partículas resistentes à variação do pH do trato gastrointestinal, permitindo a liberação de compostos bioativos no cólon (ROBERFROID, 2007; STOWELL, 2009). A albumina da clara do ovo e a proteína isolada do soro do leite também apresentam propriedades importantes, tais como solubilidade em água, capacidade emulsificante e biodegradabilidade, que permitem o seu uso como materiais encapsulantes. Além do seu alto valor nutricional, a albumina e a proteína do soro do leite são constituídas por proteínas que apresentam funcionalidades importantes, como propriedades antimicrobianas e anticarcinogênicas (ABEYRATHNE; LEE; AHN, 2013; CHATTERTON et al., 2006).

Nesse contexto, além do encapsulamento conferir maior estabilidade às betalainas e compostos fenólicos extraídos das brácteas da *B. glabra*, promover a liberação controlada destes compostos e potencializar sua aplicação em alimentos, o uso de materiais de parede com propriedades funcionais resulta em micropartículas com características benéficas adicionais para o organismo.

O presente trabalho está estruturado em 6 capítulos, onde o capítulo 1 apresenta a revisão bibliográfica dos temas relacionados ao Doutorado. Os capítulos 2, 3, 4 e 5 apresentam os artigos científicos e o capítulo 6 apresenta a discussão geral, a conclusão e as perspectivas da tese.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Extrair e encapsular betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *Bougainvillea glabra* utilizando diferentes métodos, bem como avaliar a estabilidade das micropartículas produzidas em diferentes condições de armazenamento.

Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência de extração das betalaínas e compostos fenólicos utilizando os métodos de extração aquosa convencional, exaustiva, ultrassom e micro-ondas;
- Avaliar a capacidade antioxidante dos extratos produzidos, bem como identificar e quantificar as betalaínas e fenólicos extraídos das brácteas da *B. glabra*;
- Avaliar os parâmetros reológicos das dispersões contendo extrato de *B. glabra* e os materiais encapsulantes;
- Encapsular os compostos bioativos extraídos das brácteas da *B. glabra* através da atomização, liofilização e gelificação iônica, utilizando povidona, inulina, albumina de ovo e proteína de soro de leite como materiais encapsulantes;
- Caracterizar as esferas obtidas por gelificação iônica quanto ao teor de betalaínas e fenólicos, capacidade antioxidante, eficiência do encapsulamento, propriedades físicas e estruturais;
- Caracterizar as micropartículas obtidas por atomização e liofilização quanto ao teor de betalaínas e fenólicos, capacidade antioxidante, eficiência do encapsulamento, cor, propriedades físicas e morfológicas;
- Avaliar a estabilidade das micropartículas obtidas por atomização e liofilização em diferentes temperaturas de armazenamento e determinar o seu perfil de digestão gastrointestinal *in vitro*.

CAPÍTULO 1

Revisão bibliográfica

1. Betalaínas

1.1. Características e estrutura química

As betalaínas são compostos que contêm nitrogênio em sua estrutura. São solúveis em água e estão presentes em várias plantas da ordem Caryophyllales e em alguns fungos basidiomicetos (GONÇALVES et al., 2015; STRACK; VOGT; SCHLIEMANN, 2003). De acordo com sua estrutura química, as betalaínas são subdivididas em betacianinas e betaxantinas, onde o ácido betalâmico (Figura 1A) é o cromóforo comum a esses pigmentos. As betacianinas apresentam coloração roxa ou avermelhada, enquanto que, as betaxantinas caracterizam-se por apresentar coloração amarela ou laranja (AZEREDO, 2009; GANDÍA-HERRERO; GARCÍA-CARMONA, 2013).

Um fato importante é que as betalaínas e as antocianinas nunca são encontradas na mesma planta, ou seja, a existência desta classe de compostos é mutuamente exclusiva, onde a ocorrência de uma elimina a possibilidade de ocorrência da outra (GONÇALVES et al., 2015; STAFFORD, 1994). Até o momento, não está estabelecido se há alguma vantagem da biossíntese de betalaínas sobre as antocianinas, ou se existe uma razão específica pela ausência de betalaínas em plantas produtoras de antocianinas (BROCKINGTON et al., 2011; JAIN; GOULD, 2015a).

As betalaínas são encontradas em uma ampla variedade de tecidos vegetais, incluindo folhas, caule, frutos, flores, raízes e sementes (GANDIA-HERRERO; GARCIA-CARMONA, 2013). Desempenham um papel importante na atração de polinizadores e frugívoros para fertilização e dispersão de sementes. Além disso, as betalaínas provavelmente participam da defesa da planta contra vários sinais de estresse biótico, como por exemplo, insetos-praga, fungos e bactérias e também estresse abiótico, como o déficit hídrico e exposição à luz ou irradiação ultravioleta (JAIN; GOULD, 2015a).

Até 1957, as betalaínas eram consideradas antocianinas ou, mais precisamente, antocianinas nitrogenadas, porém a cristalização da betanina e a sua hidrólise à betanidina, e o subsequente isolamento da indicaxantina forneceu evidência de que elas eram um conjunto diferente de pigmentos contendo um sistema de 1,7-diazaheptametina. Atualmente existem cerca de setenta e cinco estruturas de betalaínas identificadas (KHAN; GIRIDHAR, 2015; KHAN, 2016). Esses compostos são sintetizados a partir do amino ácido tirosina, sendo a

natureza do resíduo adicional que determina a classificação do pigmento. As betacianinas (Figura 1B) originam-se através da condensação do ácido betalâmico com os derivados glicosilados da 3,4-di-hidroxiifenilalanina cíclica (ciclo-DOPA), apresentando máximo de absorção ($\lambda_{\text{máx}}$) entre 535 e 540 nm. Já as betaxantinas (Figura 1C), têm origem a partir da condensação do ácido betalâmico com aminoácidos ou aminas e apresentam $\lambda_{\text{máx}}$ entre 460 e 480 nm (GANDÍA-HERRERO; ESCRIBANO; GARCÍA-CARMONA, 2010; GANDIA-HERRERO; GARCIA-CARMONA, 2013; GONÇALVES et al., 2015).

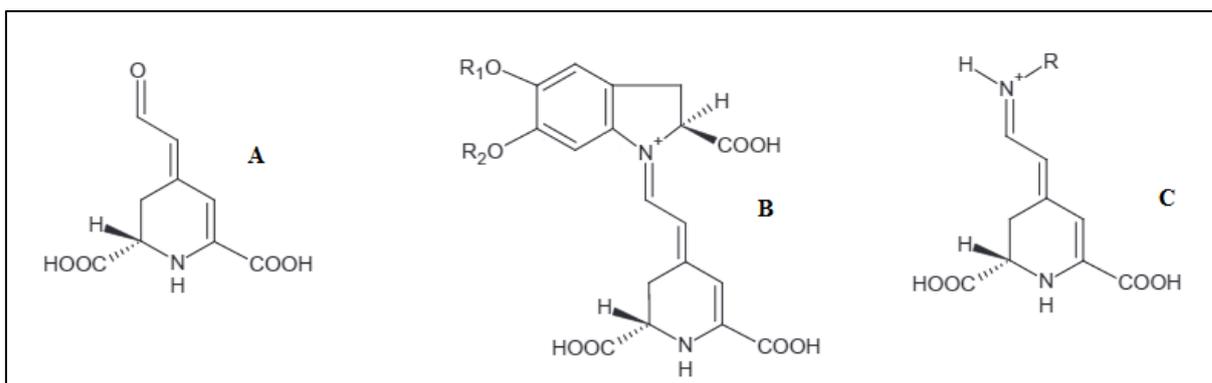


Figura 1. Estrutura química geral do ácido betalâmico (A), das betacianinas (B) e das betaxantinas (C). R₁, R₂: H, grupo glicosil ou derivados; R: aminoácido, amina ou derivados.

Fonte: Khan (2016).

As betalaínas apresentam estabilidade em uma ampla faixa de pH, entre 3 a 7, podendo ser utilizadas em diversos produtos alimentícios, principalmente os de baixa acidez como sorvetes e iogurtes, já que esses pigmentos são menos susceptíveis, que as antocianinas, à clivagem hidrolítica (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Além disso, as betalaínas também são usadas como aditivo natural em cosméticos e medicamentos (RAVICHANDRAN et al., 2013).

A betanina (CAS 7659-95-2), uma betacianina extraída da beterraba vermelha, tem seu uso como corante alimentício aprovado pela União Europeia (E162), FDA (*Food and Drug Administration*) nos Estados Unidos e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa; INS 162) no Brasil. É utilizada em balas e caramelos, iogurtes, sorvetes, molhos, massas alimentícias, coberturas prontas, misturas para bolos, misturas em pó para bebidas, refrigerantes, sobremesas a base de gelatina, entre outros produtos (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LÓPEZ, 2000; KHAN et al., 2015).

No entanto, as betalaínas são propensas à degradação provocada por vários fatores físico-químicos, como luz, oxigênio, altas temperaturas, pH elevado (pH > 7), alta atividade de água, enzimas (peroxidase e polifenol oxidase) e metais, como ferro, cobre e alumínio (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Para aumentar suas aplicações comerciais, é necessário conferir às betalaínas maior estabilidade frente aos fatores adversos e, neste contexto, o encapsulamento destaca-se como uma técnica promissora e eficiente (KHAN, 2016).

1.2. Fontes de betalaínas

A principal fonte de betalaínas explorada comercialmente é a beterraba vermelha (*Beta vulgaris*), que contém as betacianinas betanina e isobetanina e uma fração menor de betaxantina (vulgaxantina I) (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015; SLATNAR et al., 2015). No entanto, o uso da beterraba apresenta algumas desvantagens, tais como uma gama de cores limitadas devido ao teor majoritário de betanina, alto teor de sais e nitrato, além de sabor e aroma terrosos devido à presença de geosminas e pirazinas (MEREDDY et al., 2017; POLTURAK; AHARONI, 2018).

Exemplos de outras plantas pigmentadas por betalaínas incluem a primavera (*Bougainvillea* spp.), o amaranto (*Amaranthus* spp.), a pitaia (*Hylocereus* spp.), a pera espinhosa ou figo da Índia (*Opuntia* spp) e a quinoa (*Chenopodium quinoa*) (ESCRIBANO et al., 2017; GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015; HEUER et al., 1994). Betalaínas também foram identificadas em alguns fungos basidiomicetos dos gêneros *Amanita* e *Hygrophorus*, como por exemplo, o agário das moscas (*Amanita muscaria* (L.) Lam.), conhecido pelos seus compostos psicoativos e pelo seu píleo vermelho com pontos brancos (STRACK; VOGT; SCHLIEMANN, 2003). A Tabela 1 apresenta um resumo das diferentes fontes de betalaínas.

Tabela 1. Fontes de betalaínas

Fontes	Teor total de betalaínas (mg 100 g ⁻¹)*	Referências
Beterraba amarela (<i>B. vulgaris</i> L.)	568 ^a	Slatnar et al. (2015)
Beterraba vermelha (<i>B. vulgaris</i> L)	40–77 ^b	Sanchez-Gonzalez et al. (2013)
	78,9–130,9 ^b	Wruss et al. (2015)
	240–1260 ^a	Nemzer et al. (2011)
	2935–3969 ^a	Slatnar et al. (2015)
Acelga (<i>B. vulgaris</i> L. spp. cicla)	5,7–6,5 ^b	Kugler et al. (2007)
Amaranto (<i>Amaranthus</i> sp.)	0,07–20,93 ^a	Li et al. (2015)
Figo da Índia (<i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber ex Diguet)	92,7 ^b	Sanchez-Gonzalez et al. (2013)
Figo da Índia vermelho (<i>Opuntia</i> sp.)	3 ^b	De Souza et al. (2015)
Pitaia (<i>Hylocereus</i> sp.)	101 ^a	Mello et al. (2015)
Cereja sangue (<i>Rivina humilis</i>)	1700 ^a	Khan et al. (2012)
Quinoa (<i>C. quinoa</i> Willd. var. Collana)	0,13 ^a	Díaz-Rojas et al. (2015)
Primavera/três Marias (<i>Bougainvillea glabra</i>)	1029 ^a	Kuhn et al. (2021)

*Teor total de betalaínas, expresso em mg 100 g⁻¹. **a**: em base seca; **b**: em base úmida.

Fonte: Adaptado de Celli; Brooks (2016).

Vários fatores bióticos e abióticos podem afetar a acumulação de betalaínas nas plantas e contribuem para os valores discrepantes relatados na literatura, incluindo as diferenças entre as variedades e cultivares (HILOU; MILLOGO-RASOLODIMBY; NACOULMA, 2013; SUMAYA-MARTINEZ et al, 2011; YAHIA; MONDRAGON-JACOBO, 2011). Estes fatores incluem as diferentes partes da planta em questão, estágio de maturação, salinidade, estresse oxidativo, luz, a concentração de micronutrientes, insetos, seca, temperatura crescente e práticas agrícolas (CAO et al., 2012; JAIN; GOULD, 2015b; TYSZKA-CZOCHARA et al., 2016).

Além das suas propriedades corantes, as betalaínas têm atraído o interesse dos pesquisadores devido às propriedades benéficas à saúde, associadas ao seu consumo. Alguns efeitos atribuídos a esse compostos são: capacidade antioxidante (ALBANO et al., 2015;

RAVICHANDRAN et al., 2013), efeito antiproliferativo em células carcinogênicas (KUMAR et al., 2015; NASELLI et al., 2014), efeito cardioprotetor (HOBBS et al., 2013), anti-inflamatório (MARTINEZ et al., 2020; VIDAL et al., 2014), antimicrobiano (FARIDAH; HOLINESTI; SYUKRI, 2015; VULIĆ et al., 2013) e efeito neuroprotetor (HADIPOUR; FERREIDONI; TAYARANI-NAJARAN, 2020; SHUNAN et al., 2021). As betalaínas participam ativamente na eliminação de radicais livres. Verificou-se que elas ativam um fator de transcrição chave (Nrf2) que induz mecanismos antioxidantes endógenos (ESATBEYOGLU et al., 2014; TURPAEV, 2013; ZHANG et al., 2013).

2. Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos originam-se do metabolismo secundário das plantas, sendo essenciais para o seu crescimento e reprodução. Estão amplamente distribuídos por todo o reino vegetal e são formados em condições de estresse como infecções, ferimentos e exposição à radiação ultravioleta (COSME et al., 2020; NACZK; SHAHIDI, 2004). Os fenólicos geralmente estão relacionados às respostas de defesa da planta. Além disso, os metabólitos fenólicos desempenham um papel importante em outros processos, como por exemplo, incorporando substâncias atrativas para acelerar a polinização, coloração para camuflagem e defesa contra herbívoros, além de atividades antibacterianas e antifúngicas (EDREVA et al., 2008).

Quimicamente, os fenólicos são definidos como substâncias que possuem pelo menos um anel aromático em sua estrutura, contendo um ou mais grupos hidroxila ligados. Os fenólicos englobam desde moléculas simples até moléculas com alto grau de polimerização. Mais de 8000 compostos fenólicos já foram detectados em plantas, presentes na forma livre ou ligados a açúcares (glicosídeos) e proteínas (BRAVO, 1998; ANGELO; JORGE; 2007; SILVA et al., 2010).

Esta classe de compostos é dividida em flavonoides e não-flavonoides. Os flavonoides são compostos de baixa massa molecular e caracterizam-se por apresentar 15 átomos de carbono na seguinte configuração: C₆-C₃-C₆. No grupo dos flavonoides encontram-se os flavonóis (Figura 2), flavonas, isoflavonas, flavan-3-óis, flavanonas, antocianinas e chalconas (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016). As principais fontes de flavonoides são a cebola, maçã, uva, vinho tinto, soja, ervas aromáticas, frutas cítricas e chá verde (HERTOG; HOLLMAN; VAN DE PUTTE, 1993; VAN ACQUIRE, 1996).

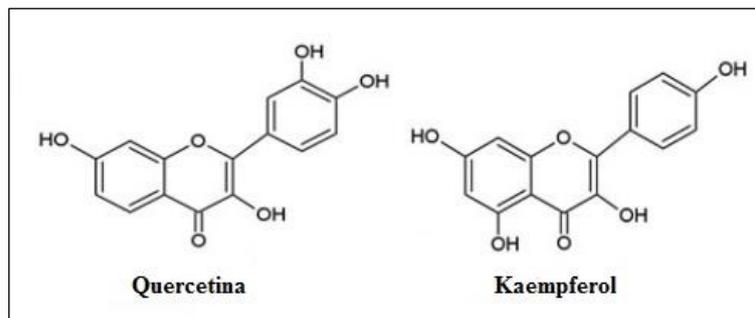


Figura 2. Quercetina e kaempferol: principais flavonóis encontrados em plantas.

Fonte: Panche et al. (2016).

Na classe dos não-flavonoides estão os derivados dos ácidos hidroxicinâmico (C_6-C_3) e hidroxibenzóico (C_6-C_1) (BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006). Entre os principais derivados dos ácidos hidroxicinâmicos estão os ácidos caféico, cumárico e ferúlico, encontrados em alimentos como maçã, pera, cereja e damasco. Os ácidos hidroxibenzóicos incluem os ácidos gálico, *p*-hidroxibenzóico, salicílico e elágico, encontrados no morango, uva, laranja, limão e tangerina (SILVA et al., 2010).

Os compostos fenólicos estão associados a inúmeros benefícios para a saúde humana, além de serem componentes indispensáveis em uma variedade de aplicações nutracêuticas, farmacêuticas, medicinais e cosméticas (ALBUQUERQUE et al., 2021; PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016). Como efeitos benéficos à saúde destacam-se a capacidade antioxidante, atividades neuroprotetora, cardioprotetora, anti-inflamatória e anti-carcinogênica (BOUDJOU et al., 2013; MOLINERA et al., 2019; MUÑOZ-BERNAL et al., 2021; MUMTAZ et al., 2021). Além disso, esses compostos também possuem atividade antibacteriana e antiviral (ENKHTAIVAN et al., 2015; SALIH et al., 2017; TANASE; COSARCĂ; MUNTEAN, 2019).

As brácteas da *B. glabra* também são uma fonte de compostos fenólicos. Dentre os ácidos fenólicos presentes destacam-se os ácidos sinápico, *p*-cumárico, ferúlico, *p*-hidroxibenzóico e ácido gálico. Os flavonóis miricetina, quercetina e kaempferol (Figura 2) também são encontrados nas brácteas da *B. glabra*, este último em maior quantidade (KAISOON; KONCZAK; SIRIAMORNPUN, 2012).

3. *Bougainvillea glabra*

A *Bougainvillea glabra* é uma planta pertencente à família Nyctaginaceae conhecida como buganvília, flor de papel, primavera ou três Marias (Figura 3). As brácteas da *B. glabra*

apresentam diferentes colorações: rosa, roxo, vermelho, laranja, branco ou amarelo (KUMAR et al., 2017; MARAN; PRIYA; NIVETHA, 2015).

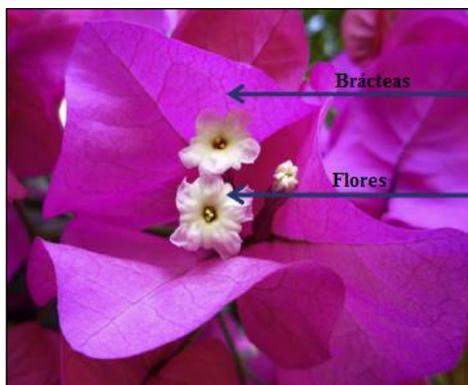


Figura 3. Brácteas e flores da *Bougainvillea glabra*.

Fonte: Pérez-Ramírez; Lima; Guzmán (2015).

O gênero *Bougainvillea* é endêmico da América do Sul e foi relatado pela primeira vez no Brasil, em 1778, sendo introduzido na Europa pelo comandante militar francês Louis Antoine de Bougainville. A *Bougainvillea glabra* é a planta mais comum deste gênero, muito cultivada como planta ornamental em quase todo o mundo (ABARCA-VARGAS; PETRICEVICH, 2018; AHMED, 2014).

No Brasil, esta planta é encontrada nos estados de Pernambuco, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SÁ, 2010). No Rio Grande do Sul ocorre nas regiões da encosta superior do Nordeste, serra do Sudeste, depressão central e encosta inferior do Nordeste. Também é encontrada como cultivada e pode florescer várias vezes ao ano, exceto em épocas muito chuvosas (MARCHIORETTO; UTZIG; LIPPERT, 2011).

As brácteas e flores da *B. glabra* são comestíveis, usadas frequentemente pela população de países como Tailândia, Índia, China e México em preparos culinários e também para fins medicinais (ABARCA-VARGAS; MALACARA; PETRICEVICH, 2016; KAISOON; KONCZAK; SIRIAMORNPUN, 2012; MARAN, PRIYA; NIVETHA, 2015).

As betacianinas da *B. glabra* são as responsáveis pelas cores intensas de suas brácteas (STEGLICH; STRACK, 1990; JERZ et al. 2010). Através de análise cromatográfica de um extrato metanólico de brácteas de *B. glabra*, Heuer et al. (1994) obtiveram uma mistura complexa mais de 30 betacianinas, incluindo conjugados de betanidina e isobetanidina.

O pigmento extraído das brácteas da *B. glabra* apresenta um grande potencial para ser utilizado pelas indústrias de alimentos, farmacêutica e cosmética (KUMAR et al., 2017;

PATIL et al., 2014; SALEEM et al., 2021). Dentre os benefícios associados às brácteas da *B. glabra*, destacam-se a capacidade antioxidante, atividade antibacteriana e potencial de inibição contra enzimas envolvidas em patologias de pele (tirosinase), diabetes (α -amilase) e distúrbios inflamatórios (lipoxigenase) (KUHN et al., 2021; MARKANDAN et al., 2016; NAPOLEON; SWETHA; ANGAJALA, 2013; SALEEM et al., 2020). Além disso, um estudo mostra que o extrato etanólico das brácteas da *B. glabra* não apresentou toxicidade contra células de fígado e rim (SHALINI et al., 2018). No entanto, as brácteas da *B. glabra* são uma fonte de betalaínas e compostos fenólicos ainda pouco estudada. Até o momento são encontrados poucos estudos sobre as propriedades e aplicações industriais das brácteas da *B. glabra*.

4. Métodos de extração de betalaínas e compostos fenólicos

As betalaínas e compostos fenólicos são comumente obtidos a partir de fontes vegetais por métodos convencionais de extração, como maceração e extração por soxhlet (CELLI; BROOKS, 2016; HILOU; MILLOGO-RASOLODIMBY; NACOUUMA, 2013; RAMLI; ISMAIL; RAHMAT, 2014).

No entanto, as técnicas de extração convencionais apresentam algumas desvantagens, como longos tempos de extração, uso de solventes orgânicos e degradação dos compostos bioativos que pode ser provocada pelas altas temperaturas usadas na extração por soxhlet, por exemplo. No caso da maceração, além de longos tempos de extração, o rendimento é baixo (OSORIO-TOBÓN, 2020; WANG; WELLER, 2006). Dessa forma, nos últimos anos, tornou-se crescente o interesse dos pesquisadores e das indústrias pelo uso de novas técnicas de extração de compostos bioativos que visem melhorar a eficiência do processo e que sejam ambientalmente corretas, também chamadas tecnologias “limpas” ou “verdes” (TIWARI; CULLEN, 2012).

Neste sentido, a extração assistida por micro-ondas (EAM) e a extração assistida por ultrassom (EAU) apresentam-se como técnicas promissoras e alternativas à extração convencional de compostos bioativos (CARDOSO-UGARTE et al., 2014; OSORIO-TOBÓN, 2020; RAMLI; ISMAIL; RAHMAT, 2014).

4.1. Extração Assistida por Ultrassom (EAU)

A extração assistida por ultrassom (EAU) vem sendo amplamente utilizada para a extração de compostos fenólicos e betalaínas de diversas fontes vegetais (LAQUI-VILCA et

al., 2018; MARAN; PRIYA; NIVETHA, 2015; SETYANINGSIH et al., 2019; SOQUETTA, TERRA; BASTOS, 2018). Através do ultrassom, as extrações podem ser realizadas em minutos, com alta reprodutibilidade e eficiência, reduzindo o custo de processamento, simplificando a manipulação e o trabalho, conferindo maior pureza ao produto final e consumindo apenas uma fração do tempo e energia normalmente necessários para os processos convencionais (CHEMAT et al., 2017). Esta técnica permite ainda o uso de água como solvente, evitando ou diminuindo o uso de solventes orgânicos. Além disso, pode reduzir a energia consumida no processo, levando a menores impactos ambientais, sendo considerada uma técnica “verde” de extração (SUMERE et al., 2018).

A principal força motriz para os efeitos da extração através da sonicação é a cavitação acústica. Quando o ultrassom se propaga, induz uma série de compressões nas moléculas do meio. Tais mudanças de pressão alternadas causam a formação e o colapso de bolhas em um meio líquido. Este fenômeno de criação, expansão e colapso implosivo de microbolhas em líquidos irradiados por ultrassom é conhecido como "cavitação acústica" (TIWARI, 2015). O colapso dessas bolhas rompe a parede celular da matriz vegetal, aumentando assim a liberação de compostos extraíveis (CHEMAT; ZILL; KHAN, 2011; SINGANUSONG et al., 2015).

Quando essas bolhas caem sobre a superfície de um material sólido, a alta pressão e a temperatura liberada geram micro jatos direcionadas para a superfície sólida. A Figura 4 representa o colapso das bolhas de cavitação e a liberação do conteúdo do material vegetal (CHEMAT; ZILL; KHAN, 2011).

Geralmente, uma alta intensidade ultrassônica e baixa frequência (20 kHz) são utilizadas para extração de compostos bioativos de vegetais. Nessa frequência, o efeito físico de cavitação é dominante. As ondas ultrassônicas também facilitam a hidratação, o aumento do volume e dos poros da matriz, proporcionando maior difusão do solvente e conseqüentemente, maior transferência de massa. Os efeitos de hidratação e aumento de volume são vantajosos quando uma matriz seca é usada para a EAU. As variáveis da EAU tais como a potência do ultrassom, a temperatura do processo e o tempo de sonicação afetam a eficiência de extração (BIMAKR et al., 2012; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021; TIWARI, 2015; ASHOKKUMAR et al., 2008).

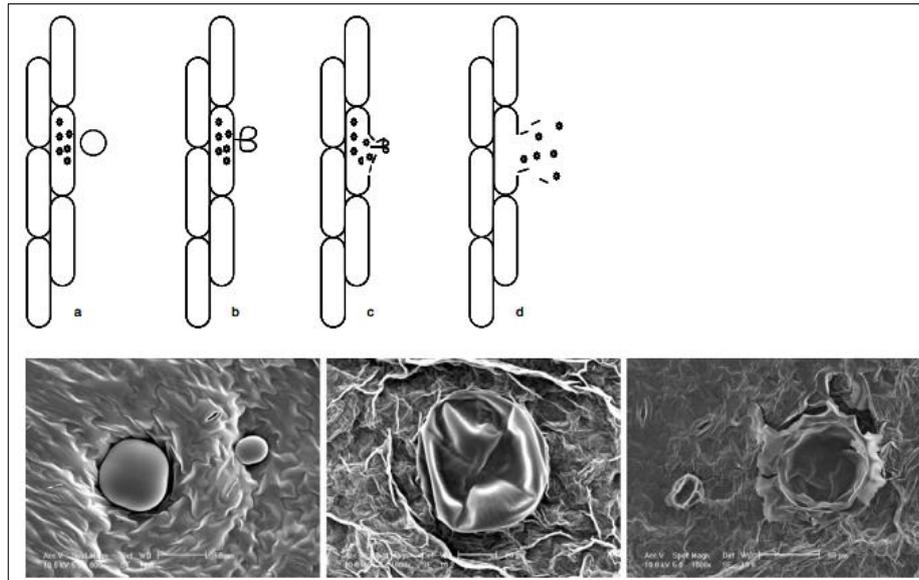


Figura 4. Colapso das bolhas de cavitação e liberação do conteúdo do material vegetal. a) Bolha de cavitação gerada próxima à superfície da matriz vegetal; b) Colapso da bolha; c) Micro jato direcionado à matriz vegetal e rompimento da parede celular; d) Liberação do conteúdo vegetal para o meio.

Fonte: Adaptado de Chemat; Zill; Khan (2011).

A extração assistida por ultrassom é realizada com a utilização do banho ultrassônico ou através da sonda ultrassônica. Ambos os sistemas baseiam-se em um transdutor piezoelétrico como fonte de energia de ultrassom. No banho ultrassônico a matéria-prima sólida e o solvente são misturados, e colocados no banho ultrassônico (tanque de aço inoxidável conectado ao transdutor) para extração. O banho ultrassônico geralmente opera a uma frequência de 40 kHz e pode ser equipado com controle de temperatura. É mais econômico e de fácil manuseio, porém apresenta baixa reprodutibilidade. A sonda ultrassônica opera a uma frequência em torno de 20 kHz e consiste em uma sonda conectada a um transdutor. A sonda é imersa em um recipiente de extração, fornecendo energia diretamente à amostra, com perda mínima de energia. Há vários tipos de sondas com diferentes comprimentos, diâmetros e geometrias de ponta. A seleção da sonda deve ser feita de acordo com a aplicação e o volume de amostra a ser sonicada (CHEMAT et al. 2017; KUMAR; SRIVASTAV; SHARANAGAT, 2021).

4.2. Extração Assistida por Micro-ondas (EAM)

A extração assistida por micro-ondas (EAM) é uma alternativa promissora à extração convencional (BALTACIOĞLU et al., 2021; HELENO et al., 2016; SINHA; SARA; DATTA, 2012). Vários autores relataram as vantagens da EAM sobre a extração convencional, como tempo de processo reduzido, menor demanda de solventes e energia e maior rendimento (BACHTLER; BART, 2021; CARDOSO-UGARTE et al., 2014; CHEN et al., 2008; HEMWIMON; PAVASANT; SHOTIPRUK, 2007; PROESTOS; KOMAITIS, 2008).

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com componentes de campo elétrico e magnético. A irradiação de micro-ondas opera na faixa de frequência entre 0,3 a 300 GHz e comprimento de onda (λ) variando entre 1 mm e 1 m (LARHED; MOBERG; HALLBERG, 2002). As micro-ondas podem penetrar em certos materiais e interagir com os componentes polares para gerar calor. O aquecimento gerado pelas micro-ondas atua diretamente nas moléculas por condução iônica e rotação dipolar e, portanto, somente materiais seletivos e direcionados podem ser aquecidos com base na sua constante dielétrica (CHAN et al., 2011; ESKILSSON; BJORKLUND, 2000). A interação do componente campo elétrico com as moléculas dipolares contidas na matriz é denominada de mecanismo de rotação dipolar, onde os dipolos das moléculas se alinham com o campo elétrico variável aplicado. Ao retirar o campo elétrico, as moléculas retornam ao seu estado desordenado e a energia que foi absorvida durante a orientação nos dipolos é dissipada na forma de calor, aquecendo o meio (DE SOUZA; MIRANDA, 2011; TSUKUI; REZENDE, 2014).

Durante a irradiação por micro-ondas, as células tornam-se desordenadas devido ao efeito da temperatura. Dessa forma, a temperatura e a pressão dentro da célula aumentam para níveis que podem provocar a ruptura das paredes celulares do material vegetal, resultando na liberação dos compostos intracelulares (PAP et al., 2013). O rompimento celular facilita a entrada do solvente de extração para solubilizar os compostos, o que leva a uma extração mais rápida, evitando desta forma a degradação dos mesmos (MANDAL; MOHAN; HEMALATHA, 2008).

Dentre os parâmetros mais importantes envolvidos na EAM estão a constante dielétrica e o fator de perda dielétrica, que determinam a polarização das moléculas pelo campo elétrico e a eficiência do solvente em produzir calor ao absorver as micro-ondas, respectivamente. Considerando a existência de um momento dipolar permanente que interage com as micro-ondas, solventes polares absorvem facilmente essa energia. Por outro lado, os

solventes apolares como o hexano, por exemplo, não aquecem espontaneamente quando estão em contato com as micro-ondas. Portanto, é fundamental a escolha de um solvente com alto fator de perda dielétrica e forte interação com a matriz e com os compostos de interesse. Solventes como etanol, metanol ou água absorvem facilmente a energia das micro-ondas devido à sua alta constante dielétrica e perda dielétrica. (EKEZIE; SUN; CHENG, 2017; PIMENTEL-MORAL et al., 2018).

O volume de solvente empregado na EAM é cerca de 10 vezes menor que o volume empregado nas técnicas convencionais de extração, com aumento do rendimento e da reprodutibilidade do processo (TSUKUI; REZENDE, 2014). Além disso, a EAM permite o uso de água como solvente, evitando ou diminuindo a necessidade de solventes orgânicos para a extração. Além da escolha do solvente, a eficiência da EAM também depende de fatores como tempo de extração, potência, razão entre a quantidade de solvente e amostra, temperatura, características e agitação da amostra (CHAN et al, 2011).

5. Encapsulamento de ingredientes alimentícios

O encapsulamento é definido como um processo no qual os ingredientes ativos sólidos, líquidos ou gasosos são cercados por um revestimento, ou incorporados em uma matriz homogênea ou heterogênea, resultando em pequenas partículas (DUBEY; SHAMI; BHASKER RAO, 2009; GHARSALLAOUI et al., 2007; SINGH et al., 2010). Geralmente, as partículas são classificadas em micropartículas (1-1000 µm) e nanopartículas (<1000 nm), no entanto, na área farmacêutica, por exemplo, para ser classificada como nano, a partícula deve ser menor que 100 nm (ASSADPOUR; JAFARI, 2018; DIAS; FERREIRA; BARREIRO, 2015; WILCZEWSKA et al., 2012).

O encapsulamento tem como objetivos reduzir a reatividade do material encapsulado com fatores ambientais, tais como temperatura, oxigênio e pH; diminuir a taxa de transferência do material encapsulado para o ambiente externo; facilitar o manuseio do material; proporcionar a liberação controlada do composto de interesse; mascarar sabores indesejados e diluir o material encapsulado quando este deve ser usado em quantidades muito pequenas (DIAS; FERREIRA; BARREIRO, 2015; SHAHIDI; HAN, 1993).

Uma das características das partículas formadas é a liberação de seu conteúdo de forma controlada sob condições específicas. O material de revestimento, ou material de parede isola o composto do ambiente até sua liberação como resposta a condições externas (pH, pressão, difusão, dissolução, temperatura, entre outros) (BOOSTANI; JAFARI, 2021;

FAVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008). Diferentes tipos de partículas são produzidos a partir de uma vasta gama de materiais de parede e por um grande número de processos de encapsulamento, tais como: secagem por atomização, liofilização, extrusão, coacervação, encapsulamento em lipossomas, inclusão molecular, gelificação iônica, entre outros (AGUIAR; ESTEVINHO; SANTOS, 2016; DESAI; PARK, 2005; GONZÁLEZ-MONJE, 2021; GOUIN, 2004; OTÁLORA et al., 2018; SHAHIDI; HAN, 1993).

A liofilização e a atomização estão entre os métodos mais utilizados no encapsulamento de compostos bioativos (LABUSCHAGNE, 2018), no entanto, é muito importante ressaltar que ambos são métodos de secagem, utilizados na etapa final do processo de encapsulamento, sendo que este tem início no momento em que o composto a ser encapsulado é disperso no material de parede.

5.1. Encapsulamento por atomização (*Spray drying*)

A secagem por atomização é um dos métodos de encapsulamento mais utilizados na indústria de alimentos, devido à sua simplicidade, rapidez, e baixo custo operacional. Permite uma produção em larga escala em modo contínuo, com alta eficiência de encapsulamento, controle das propriedades das partículas, boa estabilidade e fácil manuseio do produto final (ĐORĐEVIĆ et al., 2015; GERANPOUR; ASSADPOUR; JAFARI, 2020; JAFARI et al., 2021).

O encapsulamento por *spray drying* reduz a atividade de água do produto, garantindo sua estabilidade microbiológica, além de evitar processos de degradação, reduzir os custos de armazenamento e transporte e melhorar a solubilidade do produto final. Este método permite obter um produto com propriedades físicas variáveis, através da utilização de parâmetros de secagem, tais como as temperaturas de entrada e de saída de ar, fluxos de ar e de alimentação da amostra e a concentração do material de parede utilizado no encapsulamento (ESTEVINHO et al., 2013; GONÇALVES; ESTEVINHO; ROCHA, 2016; MAHDAVI et al., 2014). O encapsulamento por *spray drying* envolve quatro etapas: preparação da dispersão ou emulsão, homogeneização da dispersão, atomização da dispersão e desidratação das partículas atomizadas (SHAHIDI; HAN, 1993). A Figura 5 apresenta o esquema de secagem por atomização em *spray dryer*.

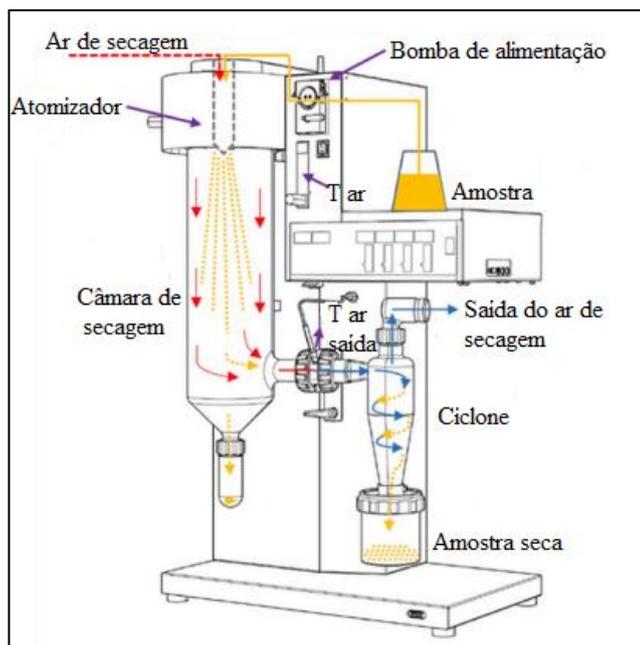


Figura 5. Processo de secagem por atomização em *spray dryer*.

Fonte: Adaptado de Geranpour; Assadpour; Jafari (2020).

O material a ser encapsulado é previamente homogeneizado com os materiais de parede. A dispersão é então pulverizada na câmara de secagem através de um bico ou disco giratório. A água é evaporada através do rápido contato do ar quente com as gotículas formadas. As partículas secas são então coletadas através de um ciclone (FANG; BANDHARI, 2010; GIBBS et al., 1999). O propósito da pulverização durante a secagem é aumentar a área de troca de calor e transferência de massa entre as gotículas e o ar de secagem. O tipo de dispositivos de pulverização, como disco ou bico pode resultar em partículas de diferentes tamanhos e propriedades. O tamanho de partícula também pode ser ajustado com a alteração do fluxo de alimentação da amostra (AUGUSTIN; OLIVER, 2012; RAJABI et al., 2015).

A Figura 6 mostra as micropartículas do extrato das brácteas da *B. glabra* encapsulado através da atomização em *spray dryer* com povidexrose e inulina como encapsulantes.



Figura 6. Micropartículas do extrato das brácteas da *B. glabra* obtidas através da atomização em *spray dryer* utilizando polidextrose (1) e inulina (2) como materiais de encapsulamento.

Fonte: O autor.

Como desvantagem do encapsulamento por atomização podemos citar a limitação dos tipos de material de parede, pois estes devem ser solúveis em água, e a possível perda de bioatividade do composto devido à exposição às altas temperaturas (CHEN et al., 2019).

5.2. Encapsulamento por liofilização (*Freeze drying*)

A liofilização consiste na desidratação de um produto congelado através da sublimação. Previamente, o produto deve ser congelado através de congelamento rápido (etapa de congelamento), em seguida, o gelo é sublimado (etapa de sublimação) e finalmente, a água ligada é removida (etapa de dessecção) (AZEREDO, 2005; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005; MICHAILIDIS; KROKIDA, 2014). O processo de liofilização preserva a maioria das propriedades iniciais do produto, tais como, aparência, sabor, cor e atividade biológica (CEBALLOS; GIRALDO; ORREGO, 2012). A Figura 7 mostra o esquema básico de um liofilizador.

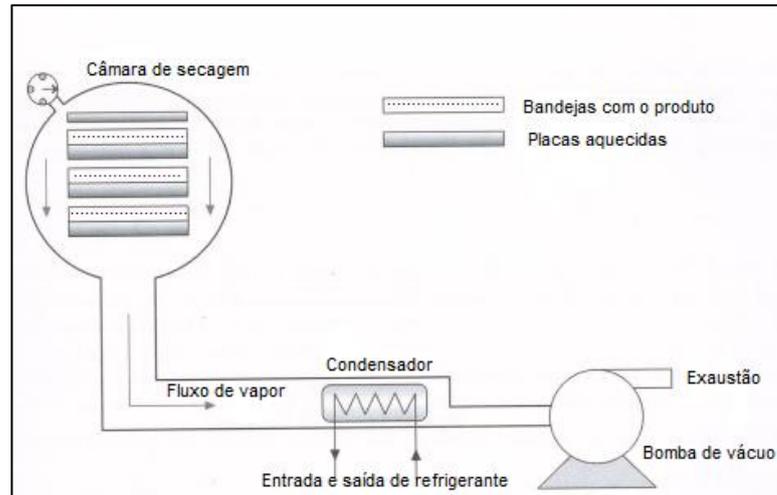


Figura 7. Esquema básico de um liofilizador.

Fonte: Tadini et al. (2016).

Para o encapsulamento através da liofilização, o composto a ser encapsulado e o material de parede são misturados, homogeneizados e a dispersão resultante é então submetida ao congelamento rápido, geralmente a temperaturas entre -70 a -80°C . A amostra congelada é seca por sublimação sob condições de baixa pressão e temperatura ($< 200 \mu\text{Hg}$ e -57°C) por 48 horas ou mais, dependendo da umidade final desejada. O resultado é um produto seco com forma escamosa e irregular. Por isso, está incluída uma etapa de moagem para obtenção das micropartículas (ZUIDAM; SHIMONI, 2010). Dentre as técnicas de moagem utilizadas, a moagem criogênica com nitrogênio líquido é a mais indicada, uma vez que absorve o calor gerado durante a moagem, preservando os compostos bioativos, e a cor do produto (KARAM et al., 2016). A Figura 8 apresenta as micropartículas do extrato das brácteas da *B. glabra* obtidas por liofilização após a etapa de moagem.



Figura 8. Extrato das brácteas da *B. glabra* encapsulado por liofilização com polidextrose (1) e inulina (2) como materiais encapsulantes.

Fonte: O autor.

Como a secagem ocorre em baixa temperatura, a liofilização é adequada para o encapsulamento de componentes sensíveis ao calor (ANANDHARAMAKRISHNAN; PADMA ISHWARYA, 2015; DESAI; PARK, 2005). É também reconhecida como um dos melhores métodos para a produção de produtos secos de alta qualidade. No entanto, esta condição depende fortemente do produto a ser submetido ao processo (CALVO et al., 2011). Compostos bioativos, sabores e aromas, óleos essenciais e probióticos foram encapsulados por liofilização utilizando diferentes materiais de parede, obtendo eficiências de encapsulamento entre 60% e 98% (AZIZI et al., 2021; KAUSHIK; ROOS, 2007; PIOVESANA; NOREÑA, 2018; QUISPE-CONDORI; SALDANA; TEMELLI, 2011; RAVICHAI; MUANGRAT, 2019). Os materiais de parede desempenham um importante papel no processo de encapsulamento, pois podem influenciar a eficiência do encapsulamento e as propriedades físico-químicas, que impactam na estabilidade dos pós liofilizados (PUDZIUEVLYTE et al., 2020).

Apesar de apresentar vantagens, o processo de liofilização demanda um alto consumo energético, devido à exigência de congelamento rápido e de baixas pressões. As baixas taxas de secagem empregadas resultam em tempo de secagem relativamente longo e conseqüentemente maior custo de operação (RODRÍGUEZ et al., 2016). Além disso, a estrutura porosa das partículas liofilizadas, devido à sublimação da água durante o processo pode acelerar a liberação dos compostos encapsulados e provocar sua degradação (ELIK; YANIK; GÖĞÜŞ, 2021; ÖZBEK; ERGÖNÜL, 2017).

5.3. Encapsulamento por gelificação iônica

O encapsulamento por gelificação iônica ou gelificação ionotrópica baseia-se na capacidade de polissacarídeos aniônicos de formar géis através de ligações iônicas cruzadas com cátions multivalentes (OTÁLORA et al., 2016).

Normalmente, o composto bioativo a ser encapsulado é dissolvido na solução polimérica e essa mistura é então gotejada em uma solução iônica. As gotas, ao atingirem a solução iônica, formam imediatamente estruturas esféricas de gel que contém o composto bioativo no interior da matriz polimérica (LEONG et al., 2016). A Figura 9 apresenta as esferas do extrato das brácteas da *B. glabra* produzidas através do encapsulamento por gelificação iônica.

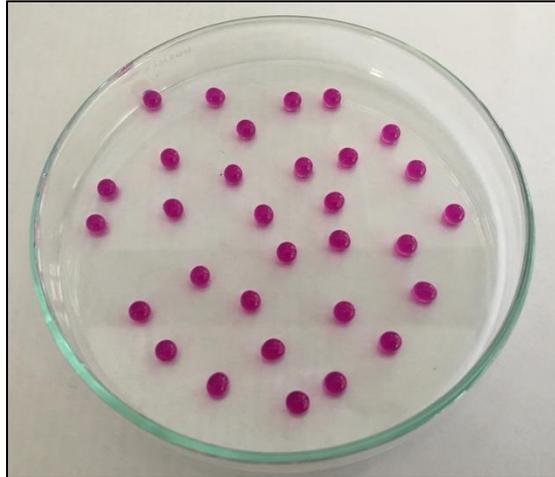


Figura 9. Extrato das brácteas da *B. glabra* encapsulado por gelificação iônica.

Fonte: O autor.

A gelificação iônica é considerada um processo de encapsulamento simples e fácil, não requer equipamento especializado e, além disso, não emprega altas temperaturas, solventes orgânicos e pode ser considerada de baixo custo (KUROZAWA; HUBINGER, 2017). Alginato de sódio, pectina de baixo grau de metoxilação, gelatina, e quitosana são geralmente utilizados como materiais de revestimento e o íon Ca^{+2} é o agente de reticulação mais utilizado no processo de gelificação iônica para aplicação em alimentos. Podem ser considerados sistemas de encapsulamento eficientes para compostos alimentícios e também para liberação controlada de ingredientes, pois são altamente biocompatíveis e mecanicamente fortes (BENNACEF et al., 2021; CHAN; LEE; HENG, 2006).

O alginato de sódio é um biopolímero linear constituído de ácidos α -L-gulurônico (G) e β -D-manurônico (M) ligados por ligações glicosídicas 1-4. É extraído principalmente de algas marinhas marrons e também de algumas bactérias, como *Pseudomonas aeruginosa*. O material apresenta variações em termos de proporção entre os resíduos G e M, bem como em sua estrutura sequencial e grau de polimerização (LEE; MOONEY, 2012; YANG et al., 2011). A gelificação iônica com alginato de sódio e Ca^{+2} ocorre quando os íons de cálcio substituem os íons de sódio dos blocos G para reticular duas cadeias de alginato e formar uma rede. Os pontos de reticulação formados pela ligação entre os blocos G do alginato e Ca^{+2} resultam em uma estrutura tridimensional denominada “caixa de ovo” ou “egg-box” (Figura 10) (BENNACEF et al., 2021; BRACCINI; PÉREZ, 2001).

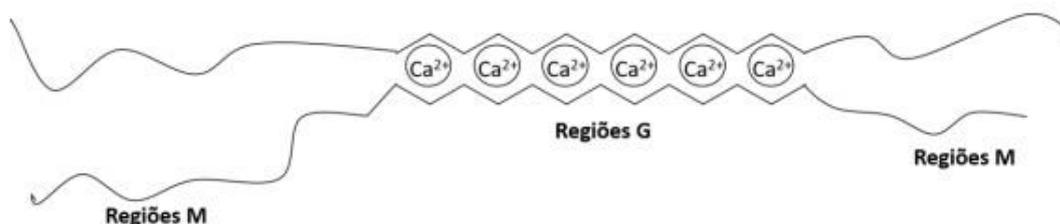


Figura 10. Formação da estrutura “egg-box” entre o alginato de sódio e o Ca^{2+} .

Fonte: Cacuro; Waldman (2018).

Alguns fatores como a natureza do cátion bivalente, a concentração de alginato, bem como a proporção entre seus monômeros G e M e o tempo de exposição à solução do cátion podem influenciar na formação das estruturas egg-box (FU et al., 2011).

6. Materiais de encapsulamento

A escolha do material de parede ou encapsulante é muito importante para a eficiência do encapsulamento e para a estabilidade das partículas. A seleção dos materiais de parede deve levar em consideração algumas características, tais como, grau alimentício, solubilidade, higroscopicidade, capacidade de formação de filme, propriedades emulsificantes e biocompatibilidade com o material encapsulado, além disso, os custos também devem ser considerados (FREIBERG; ZHU, 2004; GHARSALLAOUI et al., 2007).

O material de parede tem a função de proteger o material encapsulado de fatores ambientais adversos, evitar a interação prematura entre o encapsulado e outros ingredientes, limitar as perdas de compostos voláteis, e também permitir a liberação controlada do produto encapsulado (BOOSTANI; JAFARI, 2021; SHAHIDI; HAN, 1993).

Dependendo do material a ser encapsulado e das características desejadas do produto final, os materiais de parede podem ser selecionados a partir de uma ampla variedade de polímeros naturais e sintéticos. Os materiais de parede mais utilizados na indústria alimentícia incluem carboidratos, celulose, gomas, lipídios e proteínas (AKBARBAGLU et al., 2021; FANG; BHANDARI, 2012; GOUIN, 2004; ÖZBEK; ERGÖNÜL, 2017; POSHADRI; KUNA, 2010).

6.1. Polidextrose

A polidextrose é um polímero de glicose altamente ramificado. É considerada uma fibra dietética altamente solúvel em água, com alta higroscopicidade e com propriedades prebióticas (BURDOCK; FLAMM, 1999; HOODA et al., 2012). Devido à presença de ligações aleatórias em sua estrutura, a polidextrose não é hidrolisada por enzimas digestivas de mamíferos; é resistente à hidrólise provocada pelo pH do estômago e do intestino delgado, passando intacta para o cólon, onde é fermentada pela microbiota e o restante é excretado nas fezes (DO CARMO et al., 2016; VISCIONE, 2013).

Este polímero é obtido através da policondensação da glicose fundida, a baixa pressão, na presença de sorbitol e quantidades catalíticas de ácido cítrico ou fosfórico. As ligações glicosídicas são formadas de forma aleatória, sendo predominantes as ligações α , β do tipo 1 \rightarrow 6. Apresenta um grau de polimerização médio de 12 unidades de glicose e peso molecular médio de 2000 Da (TUNGLAND, 2018; WENZEL, 2012). A Figura 11 apresenta a estrutura química da polidextrose.

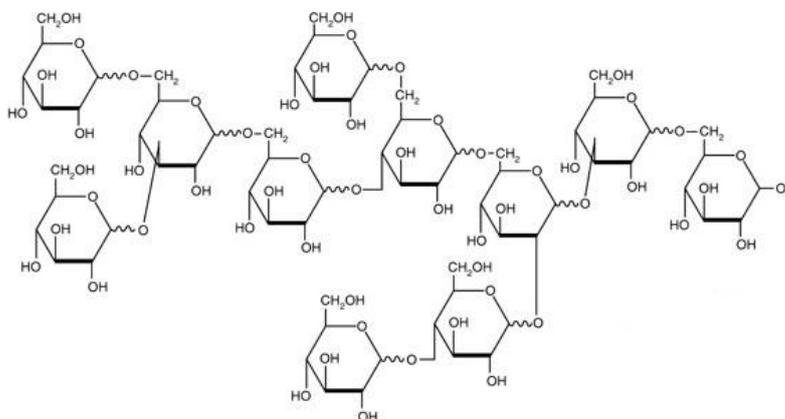


Figura 11. Estrutura química da polidextrose

Fonte: Stowell (2009).

A polidextrose pode ser incorporada a uma ampla variedade de alimentos, como agente de volume, substituto de gordura e amido. Devido ao seu baixo valor calórico (1 kcal/g) pode ser utilizada também como substituto de açúcar (MEYER, 2015). Sua elevada temperatura de transição vítrea (Tg), aproximadamente 110 °C, contribui para o aumento da estabilidade dos alimentos (VORAGEN, 1998).

Este polímero apresenta benefícios fisiológicos comuns às fibras alimentares solúveis, como a redução do tempo de trânsito intestinal e manutenção da flora intestinal (STOWELL,

2009). Pode ser considerado um prebiótico, pois estimula o crescimento de *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* no intestino e sua fermentação continua ao longo do cólon, promovendo a redução do pH das fezes e a produção de ácidos graxos de cadeia curta como o butirato, o que pode reduzir o risco de câncer de cólon (CANFORA; BLAAK, 2015; COSTABILE, et al., 2012; JIE et al., 2000).

6.2. Inulina

A inulina é um carboidrato de reserva vegetal que faz parte do grupo de polissacarídeos conhecidos como frutanos. É constituída principalmente por unidades de frutose (2-60) e geralmente apresenta um grupo terminal de α -D-glicose (1 \leftrightarrow 2). As ligações β -D-frutosil (2 \rightarrow 1) são as principais ligações glicosídicas da inulina (MENSINK et al., 2015; WENZEL, 2012). Estas ligações tornam a inulina resistente à acidez gástrica e à hidrólise por enzimas gastrointestinais humanas, sendo classificada como um carboidrato não digerível. (ROBERFROID; SLAVIN, 2000). A Figura 12 apresenta a estrutura química básica da inulina.

As propriedades físico-químicas e funcionais da inulina estão relacionadas ao seu grau de polimerização - DP (tamanho da cadeia). A inulina de cadeia curta, oligofrutose (DP<10) é muito mais solúvel e mais doce do que a inulina de cadeia longa, e pode contribuir para melhorar a aceitação de certos alimentos, devido ao seu perfil de doçura semelhante ao de outros açúcares. A fração de cadeia longa (DP \geq 23) é menos solúvel, mais viscosa e mais termoestável e pode atuar nas propriedades reológicas e sensoriais de produtos alimentícios como um substituto de gordura (APOLINÁRIO et al., 2014; GUGGISBERG et al., 2009). A inulina tem sido amplamente utilizada pela indústria alimentícia principalmente como substituto de açúcar e de gordura em produtos lácteos e também como prebiótico (BAYARRI; COSTELL, 2009; MEYER et al., 2011).

Este carboidrato é sintetizado em pelo menos dez famílias de plantas superiores. É encontrado na banana, cebola, alho, cevada, centeio, trigo, chicória, alcachofra de Jerusalém e yacon (MEYER; BLAAUWHOED, 2009). A chicória (*Cichorium intybus*) e a alcachofra de Jerusalém (*Helianthus tuberosus*) são as principais fontes usadas para a extração e aplicação industrial da inulina (AHMED; RASHID, 2017; MENSINK et al., 2015). O grau de polimerização da inulina depende de fatores como a espécie de planta, clima e condições de crescimento, maturidade da colheita e tempo de armazenamento pós-colheita (CHI et al., 2011).

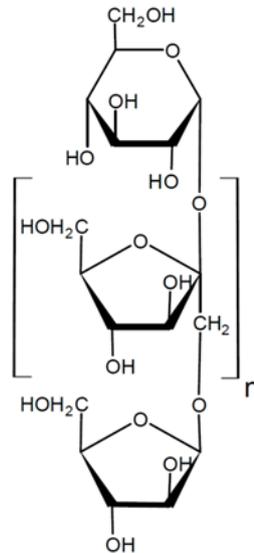


Figura 12. Estrutura química básica da inulina

Fonte: Cui; Roberts (2009).

A inulina é classificada como um prebiótico, pois as enzimas intestinais humanas não são capazes de hidrolisar as ligações do tipo $\beta(2\rightarrow1)$ encontradas neste polímero. A inulina não é hidrolisada ou absorvida no estômago e no intestino delgado, sendo hidrolisada e fermentada apenas por certas bactérias do cólon (probióticos), como as bifidobactérias. A inulina pode estimular e/ou aumentar significativamente o número de bifidobactérias e, assim, melhorar a microbiota intestinal e conseqüentemente a saúde do indivíduo. Além disso, a inulina apresenta outras propriedades biológicas importantes, como o aumento da absorção de minerais, redução dos níveis de lipídios no sangue e redução do risco de diabetes e câncer de cólon (AHMED; RASHID, 2017; LI et al., 2019; RIVERA-HUERTA et al., 2017; ROBERFROID, 2007; SLAVIN, 2013). Não há aumento do índice glicêmico, possibilitando o uso deste carboidrato como um ingrediente em alimentos para diabéticos (STEVENS; MERIGGI; BOOTEN, 2001).

Devido à fermentação da inulina no cólon, ocorre a produção de ácidos graxos de cadeia curta como o acetato, propionato e butirato e outros ácidos orgânicos, como o lactato. Além disso, também ocorre a produção de gases, acompanhada pelo aumento do conteúdo fecal e pela redução do pH do lúmen intestinal, o que favorece a solubilidade e a difusão do cálcio através da mucosa colônica, aumentando a absorção deste mineral (CAPRILES; ARÊAS, 2012; RIVERA-HUERTA et al., 2017; SCHOLZ-AHRENS; SCHREZENMEIR, 2007).

A inulina também é classificada como uma fibra alimentar, devido à sua resistência à ação das enzimas digestivas do intestino e por proporcionar alguns efeitos fisiológicos importantes para a saúde humana, como o bom funcionamento do intestino, aumentando o volume das fezes e a frequência das evacuações (ROBERFROID, 2005; SHOAIIB et al., 2016).

6.3. *Albumina do ovo*

A albumina da clara do ovo ou albúmen tem sido amplamente utilizada como ingrediente em alimentos processados, devido às suas propriedades funcionais de gelificação, emulsificação, formação de espuma e capacidade de retenção de água (LI et al., 2020; MINE, 1995; ROSSI et al., 2010). Além das propriedades mencionadas e do seu alto valor nutricional, a albumina do ovo contém muitas proteínas funcionalmente importantes, como ovalbumina, ovotransferrina, ovomucóide, ovomucina e lisozima. Essas proteínas são utilizadas na indústria alimentícia e farmacêutica, da forma como se apresentam ou após modificações enzimáticas. A ovotransferrina é usada como transportador de metais, antimicrobiano ou anticancerígeno, enquanto a lisozima é usada principalmente como conservante de alimentos. A ovalbumina é amplamente utilizada como suplemento de nutrientes e a ovomucina como agente de supressão de tumores (ABEYRATHNE; LEE; AHN, 2013; ABEYRATHNE; HUANG; AHN, 2018; WU; ACERO-LOPEZ, 2012; ZHANG et al., 2021).

A água é o componente que se apresenta em maior quantidade na albumina, variando entre 84 a 89%. Aproximadamente 11% são proteínas e o restante dos componentes são carboidratos, lipídios e minerais (SHARIF; SALEEM; JAVED, 2018). De acordo com Hida et al. (2012) quinze gramas de proteína de clara de ovo contêm 1341 mg de leucina (Leu), 837 mg de isoleucina (Ile) e 1096 mg de valina (Val), aminoácidos essenciais, que não são produzidos pelo organismo humano.

A ovalbumina é a proteína mais abundante, compreendendo 54% do total de proteínas. As propriedades e a função da proteína da clara do ovo derivam principalmente das características da sua principal proteína, a ovalbumina (MUTALIKDESAI et al., 2019). Essa proteína é uma fosfoglicoproteína globular com massa molar de 44,5 kDa, ponto isoeletrico de 4,5, com 385 resíduos de aminoácidos, metade deles hidrofóbicos. A ovalbumina é constituída ainda por quatro grupos sulfidrílicos livres, um grupo dissulfeto e por 3,5% de

carboidratos. Pode ser desnaturada por exposição ao calor, por agitação, pH, enzimas, entre outros (ALLEONI, 2006).

6.4. Proteína isolada do soro do leite

O soro do leite é um subproduto do processo de fabricação de queijos, de significativo valor nutricional, derivado da coagulação da caseína. É composto por água (93-94%), lactose (4,5-5,0%), proteína solúvel (0,7-0,9%), sais minerais (0,6-1,0%) e vitamina B. A concentração do soro resulta em produtos ricos em proteínas que são utilizados como ingredientes para melhorar as propriedades tecnológicas dos alimentos, como solubilidade, gelificação, viscosidade, emulsificação, formação de espuma, além de aumentar o valor nutricional do produto. As proteínas do soro normalmente são fornecidas como concentrados de proteínas do soro (80% de proteína) e isolados de proteínas do soro do leite (90% de proteína). Essas proteínas também são consideradas uma fonte rica em aminoácidos essenciais tais como leucina, isoleucina e valina (BOLAND, 2011; BATISTA; CAMPOS; SILVESTRE, 2018).

As principais proteínas do soro do leite são a β -lactoglobulina, α -lactalbumina, albumina sérica e imunoglobulinas. Entre as proteínas minoritárias estão a lactoferrina, osteopontina, lactoperoxidase e lisozima. A β -lactoglobulina (β -Lg) é a proteína do soro presente em maior quantidade, em torno de 50-58%, dependendo da raça do animal, dieta e estágio de lactação. Esta proteína globular apresenta massa molecular de aproximadamente 18300 Da, ponto isoelétrico de 5,1-5,2 e 162 resíduos de aminoácidos, incluindo uma proporção relativamente alta de aminoácidos de cadeia ramificada. Contém ainda cinco resíduos de cisteína (Cis), localizados nas posições 66, 106, 119, 121 e 160. Estas cisteínas formam duas ligações dissulfeto, entre Cis66 e Cis160, e entre Cis106 e Cis119 que estabilizam a proteína. A cisteína 121 (Cis121) possui um grupo sulfidril (tiol) livre que fica no centro da estrutura da β -Lg, responsável também por sua estabilidade (BOLAND, 2011; DEETH; BANSAL, 2019; LE MAUX et al., 2014).

Devido à sua estrutura conter vários locais de ligação, a β -Lg é capaz de ligar-se às vitaminas A e D, ao ácido palmítico e outros compostos hidrofóbicos. Além disso, exibe alta afinidade de ligação com ácidos graxos, fosfolipídios e compostos aromáticos (FENELON et al., 2019; LE MAUX et al., 2014). A ligação da β -Lg à essas moléculas pode modificar suas atividades biológicas, como alterações na atividade antimicrobiana e anti-carcinogênica,

efeitos hipocolesterolêmicos e metabólicos e modulação de outras funções fisiológicas. Além de sua capacidade de ligação a outros compostos, a β -Lg também apresenta atividade antioxidante e antimicrobiana e possui papel fundamental no aumento das respostas imunológicas humanas (KAZIMIERSKA; KALINOWSKA-LIS, 2021; MADUREIRA et al., 2007; TAI; CHEN; CHEN, 2016).

CAPÍTULO 2

Artigo 1

Artigo publicado na revista “Sustainable Chemistry and Pharmacy”

v. 19, 100362, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100362>

Evaluation of green extraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity from *Bougainvillea glabra* bracts

Fernanda Kuhn, Eduarda Silva de Azevedo, Jeverson Frazzon, Caciano Pelayo Zapata Noreña*

Institute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

*Corresponding author.

E-mail address: czapatan@ufrgs.br (C.P.Z. Noreña).

CAPÍTULO 3

Artigo 2

Artigo publicado no “Journal of Food Processing and Preservation”

v. 44, 10, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14834>

Behavior of inulin, polydextrose, and egg albumin as carriers of *Bougainvillea glabra* bracts extract: Rheological performance and powder characterization

Fernanda Kuhn, Eduarda Silva de Azevedo, Caciano Pelayo Zapata Noreña*

Institute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

*Corresponding author: e-mail address: czapatan@ufrgs.br

CAPÍTULO 4

Artigo 3

Artigo publicado no “Journal of Food Processing and Preservation”

e15918, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15918>

Influence of egg albumin and whey protein in the co-encapsulation of betalains and phenolic compounds from *Bougainvillea glabra* bracts in Ca(II)-alginate beads

Fernanda Kuhn^a, Patricio R. Santagapita^b, Caciano Pelayo Zapata Noreña^{a*}

^aInstitute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

^bUniversidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Química Orgánica y Departamento de Industrias, & CONICET-Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones en Hidratos de Carbono (CIHIDECAR). Buenos, Aires, Argentina

*Corresponding author.

E-mail address: czapatan@ufrgs.br (C.P.Z. Noreña).

CAPÍTULO 5

Artigo 4

Artigo a ser submetido à revista “Food Research International”

Effect of storage temperature and gastrointestinal digestion on betacyanins and phenolic compounds from encapsulated *Bougainvillea glabra* bracts extract

Fernanda Kuhn, Mariane Santos Dorneles, Caciano Pelayo Zapata Noreña*

Institute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil

*Corresponding author: e-mail address: czapatan@ufrgs.br

CAPÍTULO 6

6.1 Discussão geral

A *Bougainvillea glabra* é uma planta nativa da América do Sul e suas brácteas são uma fonte pouco explorada de compostos fenólicos e betalaínas, principalmente betacianinas. Vários benefícios à saúde têm sido associados ao consumo destes compostos, incluindo efeito antioxidante, cardioprotetor e anticarcinogênico. As betacianinas, responsáveis pela coloração roxa intensa das brácteas da *B. glabra* possuem grande potencial para serem utilizadas como corante alimentício ou em alimentos funcionais (MARAN; PRIYA; NIVETHA, 2015; MADADI et al., 2020).

Este trabalho teve como objetivo inicial avaliar a extração das betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *B. glabra* através de técnicas não convencionais de extração, como a extração assistida por ultrassom (EAU) e a extração assistida por micro-ondas (EAM), com o uso de água como solvente. A extração exaustiva com etanol 70% e a extração aquosa convencional também foram realizadas para fins de comparação. A capacidade antioxidante dos extratos obtidos foi avaliada por diferentes métodos e a identificação dos compostos fenólicos e betalaínas foi realizada por HPLC-DAD-MS. A primeira etapa foi apresentada no Capítulo 2 como o primeiro artigo científico deste trabalho.

A extração exaustiva proporcionou os maiores rendimentos de compostos fenólicos (44,98 mg EAG g⁻¹) e betalaínas (8,09 mg g⁻¹ de betacianinas (BC) e 2,20 mg g⁻¹ de betaxantinas (BX)), seguida pela extração assistida por micro-ondas (EAM), que resultou nos maiores teores de compostos fenólicos (26,89 mg EAG g⁻¹) com a potência de 100 W e tempo de extração de 70 min (Figura 1 - Capítulo 2). Para as betalaínas, os maiores rendimentos foram obtidos com as potências de 100 × 70 min (4,78 mg g⁻¹ BC; 1,03 mg g⁻¹ BX) e 600 W × 13 min (4,73 mg g⁻¹ BC; 0,88 mg g⁻¹ BX) (Figura 2 – Capítulo 2). Durante o aquecimento pelas micro-ondas, a energia é absorvida pelas moléculas de água, produzindo a rotação dipolar dessas moléculas que resulta no aquecimento interno causando vaporização da água e aumento da pressão dentro da célula, liberando os compostos de interesse (SADEGHI, A; HAKIMZADEH; KARIMIFAR, 2017).

Apesar de resultar em um rendimento 40% menor quando comparado com a extração exaustiva, a EAM apresenta algumas vantagens, como menores tempos de extração e menor consumo de energia. Além disso, é possível a utilização de água como solvente, evitando ou diminuindo o uso de solventes orgânicos. Comparando os métodos de extração aquosa, a

EAM apresentou os maiores rendimentos de betalaínas, com valores 35 a 41% maiores que a extração assistida por ultrassom (EAU) e a extração aquosa convencional, respectivamente.

Foram identificados 17 compostos fenólicos e 17 betalaínas (betacianinas) no extrato exaustivo das brácteas da *B. glabra*. A maior parte dos fenólicos identificados correspondeu aos flavonoides kaempferol, quercetina e isorametina (76,5%). O restante correspondeu aos ácidos ferúlico e *p*-cumárico. Em relação às betalaínas, a maior fração identificada (71%) foi de betacianinas aciladas por ácidos hidroxicinâmicos, como o ácido ferúlico, caféico, sinápico e *p*-cumárico. Foram identificadas também as betacianinas bougainvilleína-v e isobougainvilleína-v, betacianinas características das brácteas da *B. glabra*.

A capacidade antioxidante dos extratos avaliada pelo método de captura do radical ABTS (Figura 3 – Capítulo 2) foi maior nos extratos que apresentaram o maior teor de compostos fenólicos e betalaínas, com capacidade antioxidante de 178,62 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ para o extrato obtido por EAM 100 W, 181,02 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ EAM 600 W e 463,50 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ para a extração exaustiva. Dessa forma, a correlação de Pearson indicou que a capacidade antioxidante dos extratos avaliada pelo método ABTS estava fortemente correlacionada com o teor de fenólicos e betalaínas, com valores de $r=0,98$ para fenólicos, $r=0,90$ para betacianinas e $0,97$ para as betaxantinas. A capacidade antioxidante pelo método da desoxirribose (Figura 4 – Capítulo 2) avaliou a capacidade do extrato de proteger a desoxirribose da ação dos radicais hidroxil. A eliminação do radical hidroxil é extremamente importante, pois diminui seus efeitos nas membranas celulares, na peroxidação lipídica e danos ao DNA (HALLIWELL, 2015). Os extratos apresentaram elevados percentuais de captura dos radicais hidroxil, com valores superiores a 80% para o extrato exaustivo e obtidos por EAM a 600 e 1000 W. Através da eletroforese em gel de agarose, foi possível avaliar a capacidade dos extratos em proteger o DNA contra os efeitos das espécies reativas de oxigênio, como os radicais hidroxil, gerados por cobre e ácido ascórbico. O extrato obtido por ultrassom (EAU) apresentou a maior proteção ao DNA, até a concentração de 10 mg mL^{-1} (Figura 5 - Capítulo 2). Por outro lado, os extratos obtidos por EAM (T1 e T4) não apresentaram proteção ao DNA em nenhuma das concentrações testadas e apresentaram efeito pró-oxidante. Muitos compostos antioxidantes podem agir como pró-oxidantes na presença de metais como ferro e cobre (CAROCHO; FERREIRA, 2013). A atividade pró-oxidante apresentada pelos extratos também pode estar relacionada à possível geração de radicais livres durante o aquecimento. Além disso, a capacidade antioxidante de um extrato pode apresentar diferentes resultados

quando avaliada por diferentes métodos (GIÃO et al., 2010). Portanto, ensaios antioxidantes *in vivo* são necessários para avaliar o real efeito desses extratos em uma matriz biológica.

No capítulo 3, segundo artigo, o extrato das brácteas da *B. glabra*, obtido por EAM a 600 W, foi encapsulado usando a liofilização e atomização. Esse extrato foi selecionado devido ao fato de ser produzido por um método “verde” de extração, com o uso de água como solvente, curto tempo de extração e também devido aos maiores teores de compostos fenólicos e betalaínas. Como materiais encapsulantes, foram utilizados polidextrose, inulina e albumina de ovo, pois apresentam características importantes que propiciam seu uso como encapsulantes, incluindo higroscopicidade, biodegradabilidade, resistência ao trato gastrointestinal, solubilidade e capacidade de emulsificação. Além disso, esses materiais podem proporcionar benefícios adicionais para o organismo, pois a polidextrose e a inulina são materiais prebióticos e a albumina é uma fonte de aminoácidos essenciais.

Foram produzidas quatro formulações de micropartículas atomizadas e quatro liofilizadas, contendo os materiais de parede na concentração de 15% (m/m). Polidextrose (PD 15%), inulina (IN 15%), polidextrose+inulina (PD+IN 7,5: 7,5%) e inulina+albumina (IN+ALB 7,5: 7,5%). A caracterização reológica, realizada previamente à etapa de secagem, mostrou que todas as dispersões (extrato+material encapsulante) apresentaram um comportamento de fluido não-Newtoniano, com características pseudoplásticas, onde a viscosidade diminui com o aumento da taxa de cisalhamento (Figura 1 – Capítulo 3). A Figura 2 mostra que os valores de G'' (módulo viscoso) foram maiores que G' (módulo elástico), indicando que as dispersões não tem a capacidade de formação de gel, o que é uma característica desejável para a atomização em *spray dryer*. Com relação à caracterização dos pós produzidos, os tratamentos liofilizados contendo IN apresentaram os menores valores de a_w , indicando a influência do encapsulante e do método de secagem neste parâmetro. Os pós contendo PD a 15% apresentaram altos valores de higroscopicidade, devido à sua alta capacidade de absorção de água, com valores de 20,96 e 21,31 g 100 g⁻¹ para o pós atomizado e liofilizado, respectivamente. Os pós contendo somente PD e a combinação de PD+IN também apresentaram os maiores valores de solubilidade, atribuídos aos vários grupos OH na estrutura da polidextrose.

A maior retenção de compostos fenólicos totais foi obtida no pó atomizado contendo PD (94,9%). Contudo, as maiores retenções de betalaínas foram verificadas no pó liofilizado com IN como encapsulante e também com a combinação de PD+IN, resultando em percentuais de betacianinas superiores a 70% (Tabela 2 – Capítulo 3). A liofilização resultou

na maior retenção de betalaínas, pois este método de secagem não emprega altas temperaturas, principal fator responsável pela degradação das betalaínas (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Os pós com as maiores retenções de fenólicos e betalaínas exibiram conseqüentemente os maiores percentuais de retenção da capacidade antioxidante. Altos valores de eficiência de encapsulamento foram obtidos para todos os tratamentos, com valores variando de 89 a 99% (Tabela 3 – Capítulo 3), devido principalmente à capacidade de ligação dos fenólicos e betalaínas com os polissacarídeos e a proteína utilizados como materiais de parede (DE SOUZA et al., 2018). A análise colorimétrica (Tabela 4 – Capítulo 3) mostrou que os materiais de parede e o método de secagem resultaram em diferenças significativas ($p < 0,05$) nos parâmetros de cor dos pós de *B. glabra* produzidos. A análise termogravimétrica (Figura 4 – Capítulo 3) indicou estabilidade térmica dos pós até aproximadamente 200 °C. Nos espectros de FTIR dos pós de *B. glabra* foi possível observar o mesmo perfil de picos exibidos pelo extrato e materiais de parede, indicando a incorporação do extrato nos materiais encapsulantes. A caracterização morfológica dos pós atomizados mostrou micropartículas esféricas e lisas para os tratamentos contendo IN como encapsulante. Por outro lado, os pós liofilizados apresentaram formas irregulares com poros na superfície, devido ao processo de sublimação da água congelada que ocorre na secagem por liofilização. A estrutura porosa desses pós pode acelerar a liberação dos compostos encapsulados e provocar sua degradação. Além disso, a porosidade pode aumentar a difusão do oxigênio através das partículas, aumentando conseqüentemente a oxidação e, diminuindo a sua “vida de prateleira” (ELIK; YANIK; GÖĞÜŞ, 2021; ÖZBEK; ERGÖNÜL, 2017).

No Capítulo 4, o objetivo do trabalho foi encapsular o extrato das brácteas da *B. glabra* pelo método de gelificação iônica com o uso de albumina do ovo e proteína isolada do soro do leite para reforçar a estrutura e aumentar a estabilidade química das esferas. Além disso, o uso dessas proteínas contribui para o aumento do valor nutricional das esferas de *B. glabra*. A gelificação iônica é um método de encapsulamento simples, de baixo custo, que não emprega altas temperaturas e solventes orgânicos.

O extrato das brácteas da *B. glabra* foi encapsulado por gelificação iônica usando uma matriz de cálcio-alginato de sódio e com a inclusão de albumina do ovo ou proteína isolada do soro de leite. A reologia das dispersões, analisada previamente à etapa de encapsulamento, mostrou que a adição de albumina (0,25%) aumentou a viscosidade da dispersão (Figura 1 – Capítulo 4) devido à maior interação molecular com o alginato através de ligação de hidrogênio e interação eletrostática, como também verificado pela análise de FTIR. Por outro

lado, a adição de proteína do soro ocasionou uma diminuição da viscosidade. As esferas contendo proteínas apresentaram as maiores eficiências de encapsulamento de compostos fenólicos (71,4 - 72,6%) e betalaínas (51 - 52,1%) ($p < 0,05$) quando comparadas com as esferas contendo somente extrato e alginato a 1,00% (Alg 1,00%). As proteínas juntamente com o alginato podem atuar como uma barreira (devido às interações eletrostáticas, hidrofóbicas e/ou ligações de hidrogênio) levando à diminuição da difusividade das betalaínas e compostos fenólicos através das esferas (BELŠČAK-CVITANOVIĆ et al., 2015; MCCLEMENTS, 2006). As esferas contendo albumina apresentaram os maiores valores de tensão de ruptura (Figura 3 – Capítulo 4), indicando resistência mecânica semelhante às esferas produzidas com a maior concentração de alginato (Alg 1,25%). As esferas contendo proteína do soro de leite e as esferas com Alg 1,00% apresentaram as menores tensões de ruptura, sem diferenças significativas ($p > 0,05$) entre ambas as formulações. Os diferentes valores de tensão de ruptura obtidos permitem a aplicação das esferas de *B. glabra* em diferentes matrizes. Esferas com altos valores de tensão de ruptura apresentam maior resistência mecânica e podem controlar a liberação dos compostos bioativos, quando submetidas a altas taxas de cisalhamento durante o processamento ou cozimento. Esferas com menor resistência mecânica podem ser aplicadas para acelerar a liberação dos compostos bioativos encapsulados por difusão, quando estes compostos são usados para aumentar a vida de prateleira de produtos como, biscoitos, bolos, iogurtes, entre outros (BELŠČAK-CVITANOVIĆ et al., 2015; BOURBON; CERQUEIRA; VICENTE, 2016; CHEN; ZHANG, 2019). A caracterização estrutural das esferas (Figura 5 – Capítulo 4) demonstrou que a sua microestrutura foi fortemente afetada pela inclusão das proteínas. A inclusão da albumina aumentou a interconectividade, o tamanho e a densidade dos “bastões” de Ca-alginato, bem como o tamanho das unidades básicas (dímeros de Ca-alginato). A proteína do soro do leite reduziu o tamanho e a densidade dos “bastões” de alginato, além de reduzir o tamanho dos dímeros de Ca-alginato. Esses resultados são atribuídos principalmente às diferenças estruturais e características das proteínas, como massa molecular e sequência de aminoácidos. A albumina é muito maior e mais complexa que a proteína isolada do soro de leite.

No quinto capítulo, foi estudada a estabilidade dos pós de *B. glabra* submetidos a diferentes condições de armazenamento, além da simulação da digestão gastrointestinal *in vitro*. O estudo da estabilidade dos pós em condições adversas de temperatura e/ou umidade é fundamental para sua aplicação em alimentos, bem como seu comportamento durante a digestão simulada. A partir dos melhores resultados de retenção de compostos fenólicos e

betalaínas obtidos no Capítulo 3, foram selecionados quatro pós para o estudo da estabilidade e da digestão gastrointestinal, apresentados como o quarto artigo da tese. Os tratamentos escolhidos foram: PD atomizado; PD, IN e PD+IN liofilizados. Os pós foram armazenados a 30, 40 e 50 °C a 43,2% de umidade relativa durante 42 dias. Em geral, o teor de betacianinas (BC) diminuiu com o aumento da temperatura e com o tempo de armazenamento, no entanto, mesmo na maior temperatura avaliada, foram obtidas retenções superiores a 50%. O maior percentual de retenção de BC foi obtido a 30°C com o pó atomizado contendo PD, seguido pelo pó PD+IN liofilizado, com valores de 95,2 % e 85,9%, respectivamente (Figura 2 - Capítulo 5). Os grupos hidroxila presentes na estrutura da PD e da IN são capazes de interagir com os grupos -COOH das betacianinas via ligação de hidrogênio, aumentando a estabilidade desses compostos (FLORES-MANCHA et al., 2020). Além dos efeitos prebióticos desses polímeros, o uso da inulina combinada com povidona diminuiu a higroscopicidade do pó de *B. glabra*, característica desejável para diminuir a absorção de água, pegajosidade, e aglomeração das micropartículas durante o armazenamento. Com relação à retenção de fenólicos e capacidade antioxidante, o pó contendo IN apresentou os maiores percentuais, com 86,8 e 84,2%, respectivamente, também na temperatura de 30°C (Figuras 3 e 4 - Capítulo 5). Os resultados indicaram que a degradação das BC seguiu a cinética de primeira ordem. De acordo com os parâmetros cinéticos (Tabela 1 - Capítulo 5), apesar de apresentar o menor valor de k a 30°C ($p < 0,05$), o pó atomizado com PD apresentou a menor estabilidade em altas temperaturas (valores de z e E_a). Por outro lado, o pó liofilizado com PD foi mais estável quando submetido à altas temperaturas. Na temperatura mais elevada (50 °C) o tempo de redução decimal (D) a meia vida ($t_{1/2}$) foram maiores para os pós liofilizados PD e PD+IN. Os dados termodinâmicos indicaram que a degradação das BC é uma reação endotérmica e ocorre de forma não espontânea.

A digestão *in vitro* dos pós (Figura 5 - Capítulo 5) foi realizada através da simulação do processo digestivo na boca e estômago (fase gástrica) e intestino delgado (fase intestinal). A solubilização dos materiais encapsulantes foi o mecanismo responsável pela liberação das BC e fenólicos, uma vez que a inulina e a povidona são resistentes ao pH e às enzimas digestivas. O maior teor de BC (70,5 – 97,7%) foi liberado na primeira hora de digestão na fase gástrica, com um incremento na segunda hora de digestão. No entanto, apesar da maior liberação de BC na fase gástrica, essa liberação foi mais lenta ($p < 0,05$) nos pós contendo inulina (70,5 - 72,4%), devido à sua baixa solubilidade no fluido gástrico, relacionada ao alto grau de polimerização deste polissacarídeo ($DP \geq 23$). Além disso, as interações via ligação

de hidrogênio entre os grupos carboxílicos das BC e os grupos hidroxila presentes na estrutura da IN e da PD podem ter evitado a liberação imediata das BC (FLORES-MANCHA et al., 2020; GONZÁLEZ et al., 2020). Após a liberação, o alto teor de BC observado na fase gástrica foi atribuído ao pH do meio gástrico, que ofereceu uma condição favorável para a estabilidade das BC. Na fase intestinal ocorreu um decréscimo significativo ($p < 0,05$) no teor de BC, provavelmente devido ao pH do meio intestinal e a ação da amilase proveniente da pancreatina, que provocaram a degradação destes compostos. A liberação dos fenólicos foi similar às BC, com maior liberação (80,3 – 95,3%) e estabilidade na fase gástrica e redução de compostos na fase intestinal devido à hidrólise alcalina e também devido à ação das enzimas tripsina, amilase e lipase. As interações não-covalentes (ligação de hidrogênio, interações eletrostáticas) entre a inulina, povidona e os compostos bioativos podem modular a sua bioacessibilidade, permitindo que grande parte destes compostos chegue intacta ao cólon, onde serão catabolizados pela microbiota, resultando em compostos mais ativos e mais fáceis de serem absorvidos (JAKOBEK; MATRÍĆ, 2019; QUATRIN et al., 2020; TOMAS et al., 2020).

Em geral, de acordo com os dados obtidos, o pó liofilizado com PD e a combinação de PD e IN como materiais encapsulantes apresentaram os melhores resultados para conferir maior estabilidade às BC e fenólicos das brácteas da *B. glabra*.

6.2 Conclusões

A extração assistida por micro-ondas (EAM) com o uso de água como solvente foi uma alternativa eficiente para a extração de betalaínas e compostos fenólicos das brácteas da *B. glabra*. A EAM a 600 W e 13 min foi considerada a melhor condição para a extração, em função do teor de betalaínas, fenólicos, capacidade antioxidante e tempo de extração. As principais betalaínas e fenólicos identificados nas brácteas da *B. glabra* foram betacianinas aciladas com ácidos hidroxicinâmicos e flavonoides como kaempferol e quercetina, respectivamente. Os extratos apresentaram elevada capacidade antioxidante pelos métodos ABTS e desoxirribose. No ensaio DNA por eletroforese em gel de agarose, o extrato obtido por ultrassom apresentou a maior capacidade antioxidante. Já os extratos obtidos por EAM não apresentaram capacidade de proteger o DNA contra os efeitos da geração de radicais hidroxil.

Foi possível encapsular o extrato das brácteas da *B. glabra* utilizando polidextrose, inulina e albumina de ovo como materiais de parede através das técnicas de atomização e liofilização. Os pós contendo polidextrose apresentaram alta solubilidade e alta higroscopicidade, diferentemente dos pós contendo inulina, que apresentaram baixa solubilidade e higroscopicidade. A liofilização conferiu aos pós os menores valores de a_w , por outro lado, a atomização resultou em micropartículas mais esféricas. A polidextrose e a atomização resultaram na maior retenção de fenólicos, com 94,9%, enquanto que a inulina e a combinação de inulina e polidextrose seguida pela liofilização resultou nas maiores retenções de betalaínas, com valores acima de 70% para betacianinas.

A inclusão da albumina do ovo e da proteína isolada do soro de leite no encapsulamento do extrato da *B. glabra* por gelificação iônica resultou em esferas com diferentes propriedades mecânicas, proporcionando diferentes aplicações. Além disso, essas proteínas aumentaram o valor nutricional das esferas por serem fontes de aminoácidos essenciais. Por outro lado, além dos benefícios mencionados, vale ressaltar o cuidado com relação à aplicação dessas esferas em alimentos, ou seja, não devem ser aplicadas em produtos direcionados a consumidores que apresentam alergia à proteína do leite ou a albumina do ovo. Maiores eficiências de encapsulamento foram obtidas para as esferas contendo proteínas, em comparação ao tratamento contendo somente extrato e alginato a 1,00%.

A avaliação da estabilidade dos pós de *B. glabra* em diferentes condições de armazenamento mostrou altos percentuais de retenção de betacianinas a 30°C, com 95,2%

para o pó atomizado contendo povidona e 85,9% para pó liofilizado contendo povidona e inulina. Apesar da maior redução de betacianinas a 50 °C, retenções de 50,7 a 64,3% foram obtidas para os pós liofilizados com inulina e povidona, respectivamente. A combinação de povidona e inulina resultou na maior retenção de fenólicos, com 59,6% ao final de 42 dias de armazenamento.

A análise de digestão gastrointestinal indicou a maior liberação e estabilidade das betacianinas e fenólicos na fase gástrica, no entanto, a liberação ocorreu de forma mais lenta nos pós contendo inulina. Com base nos resultados obtidos, a liofilização com a povidona como material encapsulante e a combinação de inulina e povidona são alternativas eficientes para aumentar a estabilidade das betacianinas e fenólicos das brácteas da *B. glabra*.

6.3 Perspectivas

O presente trabalho resultou em contribuições para a área da Ciência e Tecnologia de Alimentos que podem ser ainda mais evidenciadas através das seguintes perspectivas:

- Avaliação da toxicidade e capacidade antioxidante *in vivo* dos extratos das brácteas de *B. glabra*, através de ensaios com o nematoide *C. elegans*;
- Aplicação em alimentos do extrato de *B. glabra* encapsulado por atomização e liofilização com inulina e polidextrose como encapsulantes;
- Avaliação da digestão gastrointestinal *in vitro* e da fermentação colônica dos compostos fenólicos e principalmente das betacianinas das brácteas da *B. glabra* encapsuladas por gelificação iônica;
- Encapsulamento do extrato de *B. glabra* através da técnica de eletropulverização (*electrospraying*) utilizando diferentes materiais encapsulantes e avaliação da estabilidade dos compostos fenólicos e das betalaínas encapsuladas submetidas a diferentes condições de armazenamento, bem como avaliação da digestão gastrointestinal *in vitro* e da fermentação colônica dos compostos fenólicos e principalmente das betacianinas.

REFERÊNCIAS

- ABARCA-VARGAS, R.; MALACARA, C. F. P.; PETRICEVICH, V. L. Characterization of Chemical Compounds with Antioxidant and Cytotoxic Activities in *Bougainvillea x buttiana* Holtum and Standl, (var. Rose) Extracts. *Antioxidants*, v.5, n.45, 2016.
- ABARCA-VARGAS, R.; PETRICEVICH, V. L. *Bougainvillea* Genus: A Review on Phytochemistry, Pharmacology, and Toxicology. Evidence - Based Complementary and Alternative Medicine, v. 2018, p.1-17, 2018.
- ABEYRATHNE, E. D. N. S.; LEE, H. Y.; AHN, D. U. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents - A review. *Poultry Science*, v. 92, p. 3292-3299, 2013.
- ABEYRATHNE, E. D. N. S.; HUANG, X.; AHN, D. U. Antioxidant, angiotensin-converting enzyme inhibitory activity and other functional properties of egg white proteins and their derived peptides - A review. *Poultry Science*, v. 97, 1462-1468, 2018.
- AGUIAR, J.; ESTEVINHO, B. N.; SANTOS, L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application -The specific case of coffee antioxidants - A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 58, p. 21-39, 2016.
- AKBARBAGLU, Z.; PEIGHAMBARDoust, S. H.; SARABANDI, K.; JAFARI, S. M. Spray drying encapsulation of bioactive compounds within protein-based carriers; different options and applications. *Food Chemistry*, v. 359, 129965, 2021.
- ALBANO, C.; NEGRO, C.; TOMMASI, N.; GERARDI, C.; MITA, G.; MICELI, A., et al. Betalains, phenols and antioxidant capacity in cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] fruits from Apulia (South Italy) genotypes. *Antioxidants*, v. 4, p. 269-280, 2015.
- ALBUQUERQUE, B. R.; HELENO, S. A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & Function*, v. 12, p. 14-29, 2021.
- AHMED, A. H. New flavone from the aerial parts of *Bougainvillea glabra*. *International Journal of Computational Engineering Research*, v. 4, p. 1-5, 2014.
- AHMED, W.; RASHID, S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, ISSN 1549-7852, 2017.
- ALLEONI, A. C. C. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Scientia Agricola*, v. 63, p. 291-298, 2006.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; PADMA ISHWARYA, S. *Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation*. John Wiley e Sons, Ltda, 1 ed., 2015.
- ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 66, p. 1-9, 2007.
- APOLINÁRIO, A. C.; DAMASCENO, B. P. G. L.; BELTRÃO, N. E. M.; PESSOA, A.; CONVERTI, A.; DA SILVA, J. A. Inulin-type fructans: A review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydrate Polymers*, v. 101, p. 368-378, 2014.

ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M. A systematic review on nanoencapsulation of food bioactive ingredients and nutraceuticals by various nanocarriers. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 59, p. 1-47, 2018.

ASHOKKUMAR, M.; SUNARTIO, D.; KENTISH, S.; MAWSON, R.; SIMONS, L.; VILKHU, K, et al., Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 9 n. 2, p. 155-160, 2008.

AUGUSTIN, M. A.; OLIVER, C. M. An overview of the development and applications of nanoscale materials in the food industry. In Q. Huang (Ed.), *Nanotechnology in the food, beverage and nutraceutical industries*, 2012.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, v.16, n.1, p.89-97, 2005.

AZEREDO, H. M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 44, p. 2365-2376, 2009.

AZIZI, S.; REZAZADEH-BARI, M.; ALMASI, H.; AMIRI, S. Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* using sesame protein isolate: Effect of encapsulation method and transglutaminase. *Food Bioscience*, v. 41, 101012, 2021.

BACHTLER, S.; BART, H. J. Increase the yield of bioactive compounds from elder bark and annatto seeds using ultrasound and microwave assisted extraction technologies. *Food and Bioproducts Processing*, v. 125, p. 1-13, 2021.

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, p. 191-203, 2006.

BALTACIOĞLU, H.; BALTACIOĞLU, C.; OKUR, I.; TANRIVERMIS, 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, 103204, 2021.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; ORTEGA-RIVAS, E.; JULIANO, P.; YAN, H. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. Springer US: Boston, 2005, 388p.

BATISTA, M. A.; CAMPOS, N. C. A.; SILVESTRE, M. P. C. Whey and protein derivatives: Applications in food products development, technological properties and functional effects on child health. *Cogent Food & Agriculture*, v. 4, 1509687, 2018.

BAYARRI, S.; COSTELL, E. Optimising the flavour of low-fat foods. In: *Designing functional foods: Understanding, measuring and controlling food structure breakdown and nutrient absorption for the development of health-promoting foods*. Woodhead Publishing & CRC Press, Cambridge, p. 431-447, 2009.

BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; ĐORPEVIĆ, V.; KARLOVIĆ, S.; PAVLOVIĆ, V.; KOMES, D.; JEZEK, D.; BUGARSKI, B.; NEDOVIĆ, V. Protein-reinforced and chitosan-pectin coated alginate microparticles for delivery of flavan-3-ol antioxidants and caffeine from green tea extract. *Food Hydrocolloids*, v. 51, p. 361-374, 2015.

BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; BUŠIĆ, A.; BARIŠIĆ, L.; VRSALJKO, D.; KARLOVIĆ, S.; ŠPOLJARIĆ, I.; VOJVODIĆ, A.; MRŠIĆ, G.; KOMES, D. Emulsion templated microencapsulation

of dandelion (*Taraxacum officinale* L.) polyphenols and β -carotene by ionotropic gelation of alginate and pectin. *Food Hydrocolloids*, v. 57, p. 139-152, 2016.

BENNACEF, C.; DESOBRY-BANON, S.; PROBST, L.; DESOBRY, S. Advances on alginate use for spherification to encapsulate biomolecules. *Food Hydrocolloids*, v. 118, 106782, 2021.

BIMAKR, M.; RAHMAN, R. A.; TAIP, F. S.; ADZAHAN, N. M.; SARKER, M. Z.; GANJLOO, A. Optimization of ultrasound-assisted extraction of crude oil from winter melon (*Benincasahispida*) seed using response surface methodology and evaluation of its antioxidant activity, total phenolic content and fatty acid composition. *Molecules*, v. 17, 11748-62, 2012.

BOLAND, M. Whey proteins. In: *Handbook of Food Proteins*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p. 30-55, 2011.

BOOSTANI, S.; JAFARI, S. M. A comprehensive review on the controlled release of encapsulated food ingredients; fundamental concepts to design and applications. *Trends in Food Science & Technology*, v. 109, p. 303-321, 2021.

BOUDJOU, S.; OOMAH, B. D.; ZAIDI, F.; HOSSEINIAN, F. Phenolics content and antioxidant and anti-inflammatory activities of legume fractions. *Food Chemistry*, v. 138, p. 1543-1550, 2013.

BOURBON, A. I.; CERQUEIRA, M. A.; VICENTE, A. A. Encapsulation and controlled release of bioactive compounds in lactoferrin-glycomacropeptide nanohydrogels: Curcumin and caffeine as model compounds. *Journal of Food Engineering*, v. 180, p. 110-119, 2016.

BRACCINI, I.; PÉREZ, S. Molecular Basis of Ca^{2+} Induced Gelation in Alginates and Pectins: The Egg-Box Model Revisited. *Biomacromolecules*, v. 2, 1089, 2001.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutrition significance. *Nutrition Reviews*, v. 56, p. 317-33, 1998.

BROCKINGTON, S. F.; WALKER, R. H.; GLOVER, B. J.; SOLTIS, P. S.; SOLTIS, D. E. Complex pigment evolution in the Caryophyllales. *New Phytologist*, v. 190, p. 854-864, 2011.

BURDOCK, G. A.; FLAMM, W. G. A review of the studies of the safety of polydextrose in food. *Food and Chemical Toxicology*, v. 37, p. 233-264, 1999.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Alginato e seu Uso Como Polímero Sensível a pH. *Revista Virtual de Química*, v. 10, p. 1607-1617, 2018.

CALVO, P.; CASTAÑO, A. L.; HERNÁNDEZ, M. T.; GONZÁLEZ-GÓMEZ, D. Effects of microcapsule constitution on the quality of microencapsulated walnut oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 113, p. 1273-1280, 2011.

CAO, S.; LIU, T.; JIANG, Y.; HE, S.; HARRISON, D. K.; JOYCE, D. C. The effects of host defence elicitors on betacyanin accumulation in *Amaranthus mangostanus* seedlings. *Food Chemistry*, v. 134, p. 1715-1718, 2012.

CANFORA, E. E.; BLAAK, E. E. The role of polydextrose in body weight control and glucose regulation. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, v. 18, p. 95-400, 2015.

CAPRILES, V. D.; ARÊAS, J. A. G. Frutanos do tipo inulina e aumento da absorção de cálcio: uma revisão sistemática. *Revista de Nutrição*, v. 25, 2012.

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

CAROCHO, M.; FERREIRA, C.F.R.I. A review on antioxidants, pro-oxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food Chemical and Toxicology*, v. 51, p. 15-25, 2013.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of Food Engineering*, v. 111, p. 360-365, 2012.

CELLI, G. B.; BROOKS, M. S. L. Impact of extraction and processing conditions on betalains and comparison of properties with anthocyanins - A current review. *Food Research International*, v. 100, p. 501-509, 2016.

CHAN, L. W.; LEE, H. Y.; HENG, P. W. S. Mechanisms of external and internal gelation and their impact on the functions of alginate as a coat and delivery system. *Carbohydrate Polymers*, v. 63, p. 176-187, 2006.

CHAN, C.; YUSOFF, R.; NGOH, G.; KUNG, F. W. Microwave-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*, v. 1218, p. 6213-6225, 2011.

CHATTERTON, D. E. W.; SMITHERS, G.; ROUPAS, P.; BRODKORB, A. Bioactivity of β -lactoglobulin and α -lactalbumin - Technological implications for processing. *International Dairy Journal*, v. 16, p. 1229-1240, 2006.

CHEMAT, F.; ZILL, E. H.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonic Sonochemistry*, v. 18, p. 813-835, 2011.

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

CHEN, L.; JIN, H.; DING, L.; ZHANG, H.; LI, J.; QU, C.; ZHANG, H. Dynamic microwave assisted extraction of flavonoids from *Herba Epimedii*. *Separation and Purification Technology*, v. 59, p. 50-57, 2008.

CHEN, L.; GNANARAJ, C.; ARULSELVAN, P.; EL-SEEDI, H.; TENG, H. A review on advanced microencapsulation technology to enhance bioavailability of phenolic compounds: Based on its activity in the treatment of Type 2 Diabetes. *Trends in Food Science & Technology*, v. 85, p. 149-162, 2019.

CHEN, K.; ZHANG, H. Alginate/pectin aerogel microspheres for controlled release of proanthocyanidins. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 136, p. 936-943, 2019.

CHI, Z.-M.; ZHANG, T.; CAO, T.-S.; LIU, X.-Y.; CUI, W.; ZHAO C.-H. Biotechnological potential of inulin for bioprocesses. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 4295-4303, 2011.

COSME, P.; RODRÍGUEZ, A. B.; ESPINO, J.; GARRIDO, M. Plant Phenolics: Bioavailability as a Key Determinant of Their Potential Health-Promoting Applications – Review. *Antioxidants*, v. 9, p. 1263, 1-20, 2020.

COSTABILE, A.; FAVA, F.; ROYOTIÖ, H.; FORSSTEN, S. D.; OLLI, K.; KLIEVINK, J.; ROWLAND, I. R.; OUWEHAND, A. C.; RASTALL, R. A.; GIBSON, G. R.; WALTON, G. E. Impact of polydextrose on the faecal microbiota: A double-blind, crossover, placebo-controlled feeding study in healthy human subjects. *British Journal of Nutrition*, v. 108, p. 471-481, 2012.

CUI, S. W.; ROBERTS, K. T. Dietary fiber: fulfilling the promise of added-value formulations. In: *Modern biopolymer science*, p. 399-448, 2009.

DEETH, H.; BANSAL, N. Chapter 1 - Whey Proteins: An Overview. In: *Whey Proteins - From Milk to Medicine*. Academic Press, p. 1-50, 2019.

DE SOUZA, R. O. M. A.; MIRANDA, L. S. M. Irradiação de micro-ondas aplicada à síntese orgânica: uma história de sucesso no Brasil. *Química Nova*, v. 24, p. 497, 2011.

DE SOUZA, R. L. A.; SANTANA, M. F. S.; DE MACEDO, E. M. S.; DE BRITO, E. S.; CORREIA, R. T. P. Physicochemical, bioactive and functional evaluation of the exotic fruits *Opuntia ficus-indica* and *Pilosocereus pachycladus* Ritter from the Brazilian caatinga. *Journal of Food Science and Technology*, v. 52, p. 7329-7336, 2015.

DE SOUZA, V. B.; THOMAZINI, M.; BARRIENTOS, M. A. B.; NALIN, C. M.; FERROFURTADO, R.; GENOVESE, M. I.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Functional properties and encapsulation of a proanthocyanidin-rich cinnamon extract (*Cinnamomum zeylanicum*) by complex coacervation using gelatin and different polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, v. 77, p. 297-306, 2018.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains - characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 40, p. 173-289, 2000.

DESAI, H.; PARK, H. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, v. 23, p. 1361-1394, 2005.

DIAS, M. I.; FERREIRA, I. C. F. R.; BARREIRO, M. F. Microencapsulation of bioactives for food applications. *Food & Function*, v. 6, p. 1035, 2015.

DÍAZ-ROJAS, G. L.; MENDOZA-LLAMO, E. J.; VIDAURRE-RUIZ, J. M. Cinética de la degradación de betalainas y fenoles totales durante la cocción de la quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Científica Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, v. 2, p. 85-95, 2015.

DO CARMO, M. M. R.; WALKER, J. C. L.; NOVELLO, D.; CASIELATO, V. M.; SGARBIERI, V. C.; OUWEHAND, A. C.; ANDREOLLO, N. A.; HIANE, P. A.; DOS SANTOS, E. F. Polydextrose: Physiological Function, and Effects on Health. *Nutrients*, v. 8, p. 1-13, 2016.

DORĐEVIĆ, V.; BALANČ, B.; BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A.; LEVIĆ, S.; TRIFKOVIĆ, K.; KALUŠEVIĆ, A.; KOSTIĆ, I.; KOMES, D.; BUGARSKI, B.; NEDOVIĆ, V. Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds. *Food Engineering Reviews*, v. 7, p. 452-490, 2015.

DUBEY, R.; SHAMI, T. C.; BHASKER RAO, K. U. Microencapsulation technology and applications. *Defence Science Journal*, v. 59, n. 1, p. 82-95, 2009.

EDREVA, A.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T.; DAGNON, S.; GÜREL, A.L.; AKTAS, L. Stress-protective role of secondary metabolites: Diversity of functions and mechanisms. *General and Applied Plant Physiology*, v. 34, p. 67-78, 2008.

ELIK, A.; YANIK, D. K.; GÖĞÜŞ, F. A comparative study of encapsulation of carotenoid enriched-flaxseed oil and flaxseed oil by spray freeze-drying and spray drying techniques. *LWT – Food Science and Technology*, v. 143, 111153, 2021.

EKEZIE, F. C.; SUN, D.; CHENG, J. Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments. *Trends in Food Science & Technology*, v. 67, p. 160-172, 2017.

ENKHTAIVAN, G.; JOHN, K.M.; AYYANAR, M.; SEKAR, T.; JIN, K.-J.; KIM, D.H. Anti-Influenza (H1N1) potential of leaf and stem bark extracts of selected medicinal plants of south India. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 22, p. 532-538, 2015.

ESCRIBANO, J.; CABANES, J.; JIMÉNEZ-ATIÉNZAR, M.; IBAÑEZ-TREMOLADA, M.; GÓMEZ-PANDO, L. R.; GARCIA-CARMONA, F.; GANDIA-HERRERO, F. Characterization of betalains, saponins and antioxidant power in differently colored quinoa (*Chenopodium quinoa*) varieties. *Food Chemistry*, v. 234, p. 285-294, 2017.

ESATBEYOGLU, T.; WAGNER, A. E.; MOTAFAKKERAZAD, R.; NAKAJIMA, Y.; MATSUGO, S.; RIMBACH, R. Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells. *Food Chemistry and Toxicology*, v. 73, p. 119-126, 2014.

ESKILSSON, C.; BJORKLUND, E. Analytical-scale microwave assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, v. 902, p. 227-250, 2000.

ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 31, p. 138-155, 2013.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols – A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 21, p. 510-523, 2010.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation. *In Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. p. 73-109, 2012.

FARIDAH, A.; HOLINESTI, R.; SYUKRI, D. Betalains from red pitaya peel (*Hylocereus polyrhizus*): Extraction, spectrophotometric and HPLC-DAD identification, bioactivity and toxicity screening. *Pakistan Journal of Nutrition*, v. 14, p. 976-982, 2015.

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 11, n. 2, p. 103-112, 2008.

FENELON, M. A.; HICKEY, R. M.; BUGGY, A.; MCCARTHY, N.; MURPHY, E. G. Chapter 12 - Whey Proteins in Infant Formula. *In: Whey Proteins - From Milk to Medicine*. Academic Press, p. 439-494, 2019.

FLORES-MANCHA, M. A.; RUÍZ-GUTIÉRREZ, M. G.; SÁNCHEZ-VEJA, R.; SANTELLANO-ESTRADA, E.; CHÁVEZ-MARTÍNEZ, A. Characterization of Betabel Extract (*Beta vulgaris*) Encapsulated with Maltodextrin and Inulin. *Molecules*, v. 25, 5498, 2020.

FREIBERG, S.; ZHU, X. X. Polymer microspheres for controlled drug release. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 282, p. 1-18, 2004.

FU, S.; THACKER, A.; SPERGER, D. M.; BONI, R. L.; BUCKNER, I. S.; VELANKAR, S.; MUNSON, E. J.; BLOCK, L. H. Relevance of rheological properties of sodium alginate in solution to calcium alginate gel properties. *AAPS PharmSciTech*, v. 12, 453, 2011.

GANDÍA-HERRERO, F.; ESCRIBANO, J.; GARCÍA-CARMONA, F. Structural implications on color, fluorescence, and antiradical activity in betalains. *Planta*, v. 232, p. 449-460, 2010.

GANDÍA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. *Trends in Plant Science*, v. 18, p. 334-343, 2013.

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, p. 645-649, 2015.

GERANPOUR, M.; ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M. Recent advances in the spray drying encapsulation of essential fatty acids and functional oils *Trends in Food Science & Technology*, v. 102, p. 71-90, 2020.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, v. 40, p. 1107-1121, 2007.

GIÃO, M. S.; LEITÃO, I.; PEREIRA, A.; BORGES, A. B.; GUEDES, C. J.; FERNANDES, J. C.; BELO, L.; SANTOS-SILVA, A.; HOGG, T. A.; PINTADO, M. E.; MALCATA, X. F. Plant aqueous extracts: Antioxidant capacity via haemolysis and bacteriophage P22 protection. *Food Control*, v. 21, p. 633-638, 2010.

GIBBS, B. F.; KERMASHA, S.; ALLI, I.; MULLIGAN, C. N. Encapsulation in the food industry: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, v. 50, p. 213-224, 1999.

GONÇALVES, A.; ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F. Microencapsulation of vitamin A: A review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 51, p. 76-8, 2016.

GONÇALVES, L. C. P.; MARCATO, A. C.; RODRIGUES, A. C. B.; PAGANO, A. P. E.; FREITAS, B. C.; MACHADO, C. O.; NAKASHIMA, K. K.; ESTEVES, L. C.; LOPES, N. B.; BASTOS, E. L. Betalainas: das Cores das Beterrabas à Fluorescência das Flores. *Revista Virtual de Química*, v. 7, p. 292-309, 2015.

GONZÁLEZ, E.; GÓMEZ-CARAVACA, A. M.; GIMÉNEZ, B.; CEBRIÁN, R.; MAQUEDA, M.; PARADA, J.; MARTÍNEZ-FÉREZ, A.; SEGURA-CARRETERO, A.; ROBERT, P. Role of maltodextrin and inulin as encapsulating agents on the protection of oleuropein during *in vitro* gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, v. 310, 125976, 2020.

GONZÁLEZ-MONJE, P.; GARCÍA, A. A.; RUIZ-MOLINA, D.; ROSCINI, C. Encapsulation and sedimentation of nanomaterials through complex coacervation. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 589, p. 500-510, 2021.

GOUIN, S. Micro-encapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, v. 15, p. 330-347, 2004.

GUERRERO-RUBIO, M. A.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, S.; ESCRIBANO, J.; JIMÉNEZ-ATIÉNZAR, M.; CABANES, J.; GARCÍA-CARMONA, F.; GANDÍA-HERRERO, F. Betalain health-promoting effects after ingestion in *Caenorhabditis elegans* are mediated by DAF-16/FOXO and SKN-1/Nrf2 transcription factors. *Food Chemistry*, v. 330, 127228, 2020.

GUGGISBERG, D.; CUTHBERT-STEVEN, J.; PICCINALI, P.; BÜTIKOFER, U.; EBERHARD, P. Rheological, microstructural and sensory characterization of low-fat and whole milk set yoghurt as influenced by inulin addition. *International Dairy Journal*, v. 19, p. 107-115, 2009.

HADIPOUR, E.; FEREDONI, M.; TAYARANI-NAJARAN, Z. Betanin Attenuates Oxidative Stress Induced by 6-OHDA in PC12 Cells via SAPK/JNK and PI3 K Pathways. *Neurochemical Research*, v. 45, p. 395-403, 2020.

HALLIWELL, B. Free radicals and other reactive species in disease. In: *Enc. Life Sciences (ELS)*, John Wiley & Sons, Ltd, p. 1-9, 2015.

HELENO, S. A.; PRIETO, M. A.; BARROS, L.; RODRIGUES, A.; BARREIRO, M. F. Optimization of microwave-assisted extraction of ergosterol from *Agaricus bisporus* L. by-products using response surface methodology. *Food and Bioproducts Processing*, v. 100, p. 25-35, 2016.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation – Structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, v. 71, R41, 2006.

HEMWIMON, S.; PAVASANT, P.; SHOTIPRUK, A. Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Separation and Purification Technology*, v. 54, p. 44-50, 2007.

HERTOG, M. G.; HOLLMAN, P. C.; VAN DE PUTTE, B. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of tea infusions, wines, and fruit juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 41, p. 1242-1246, 1993.

HEUER, S.; RICHTER, S.; METZGER, J. W.; WRAY, V.; NIMTZ, M.; STRACK, D. Betacyanins from bracts of *Bougainvillea glabra*. *Phytochemistry*, v. 37, p. 761, 1994.

HIDA, A.; HASEGAWA, Y.; MEKATA, Y.; USUDA, M.; MASUDA, Y.; KAWANO, H.; KAWANO, Y. Effects of Egg White Protein Supplementation on Muscle Strength and Serum Free Amino Acid Concentrations. *Nutrients*, v. 4, p. 1504-1517, 2012.

HILOU, A.; MILLOGO-RASOLODIMBY, J.; NACOULMA, O. G. Betacyanins are the most relevant antioxidant molecules of *Amaranthus spinosus* and *Boerhavia erecta*. *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 7, p. 645-652, 2013.

HOBBS, D. A.; GOULDING, M. G.; NGUYEN, A.; MALAVER, T.; WALKER, C. F.; GEORGE, T. W., et al. Acute ingestion of beetroot bread increases endothelium-independent vasodilation and lowers diastolic blood pressure in healthy men: A randomized controlled trial. *Journal of Nutrition*, v. 143, p. 1399-1405, 2013.

HOODA, S.; BOLER, B. M. V.; SERAO, M. C. R.; BRULC, J. M.; STAEGER, M. A.; BOILEAU, T. W.; DOWD, S. E.; FAHEY, G. C., JR.; SWANSON, K. S. 454 pyrosequencing reveals a shift in fecal microbiota of healthy adult men consuming polydextrose or soluble corn fiber. *The Journal of Nutrition*, v. 142, p. 1259-1265, 2012.

JAFARI, S. M.; ARPAGAUS, C.; CERQUEIRA, M. A.; SAMBORSKA, K. Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications. *Trends in Food Science & Technology*, v. 109, p. 632-646, 2021.

JAIN, G.; GOULD, K. S. Are betalain pigments the functional homologues of anthocyanins in plants? *Environmental and Experimental Botany*, v. 119, p. 48-53, 2015a.

- JAIN, G.; GOULD, K. S. Functional significance of betalain biosynthesis in leaves of *Disphyma australe* under salinity stress. *Environmental and Experimental Botany*, v. 109, p. 131-140, 2015b.
- JAKOBEK, L.; MATRIĆ, P. Non-covalent dietary fiber - Polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, v. 83, p. 235-247, 2019.
- JERZ, G.; WYBRANIEC, S.; GEBERS, N.; WINTERHALTER, P. Target-guided separation of *Bougainvillea glabra* betacyanins by direct coupling of preparative ion-pair high-speed countercurrent chromatography and electrospray ionization mass-spectrometry. *Journal of Chromatography A*, v. 1217, p. 4544-4554, 2010.
- JIE Z, BANG-YOU L, MING-JIE X, HAI-WEI L, ZU-KANG Z, TING-SON W, et al. Studies on the effects on the polydextrose intake on physiologic functions on Chinese people. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 72, p. 1503-1509, 2000.
- KAISOON, O.; KONCZAK, I.; SIRIAMORNUN, S. Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. *Food Research International*, 46, 563-571, 2012.
- KARAM, M. C.; PETIT, J.; ZIMMER, D.; DJANTOU, E. B.; SCHER, J. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, v. 188, p. 32-49, 2016.
- KAUSHIK, V.; ROOS, Y. H. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic-sucrose-gelatin systems. *LWT-Food Science and Technology*, v. 40, p. 1381-1391, 2007.
- KAZIMIERSKA, K.; KALINOWSKA-LIS, U. Milk Proteins - Their Biological Activities and Use in Cosmetics and Dermatology. *Molecules*, v. 26, n. 3253, p. 1-22, 2021.
- KHAN, M. I.; SRI HARSHA, P.S.C.; GIRIDHAR, P.; RAVISHANKAR, G. A. Pigment identification, nutritional composition, bioactivity, and in vitro cancer cell cytotoxicity of *Rivina humilis* L. berries, potential source of betalains. *LWT - Food Science and Technology*, v. 47, p. 315-323, 2012.
- KHAN, M. I.; GIRIDHAR, P. Plant betalains: Chemistry and biochemistry. *Phytochemistry*, v. 117, p. 267-295, 2015.
- KHAN, M. I. Stabilization of betalains: A review. *Food Chemistry*, v. 197, p. 1280-1285, 2016.
- KUGLER, F.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Evaluation of the antioxidant capacity of betalainic fruits and vegetables. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, v. 81, p. 69-76, 2007.
- KUHN, F.; DE AZEVEDO, E.; FRAZZON, J.; NOREÑA, C. P. Z. Evaluation of green extraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity from *Bougainvillea glabra* bracts. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 19, 100362, 2021.
- KUMAR, S. S.; MANOJ, P.; GIRIDHAR, P.; SHRIVASTAVA, R.; BHARADWAJ, M. Fruit extracts of *Basella rubra* that are rich in bioactives and betalains exhibit antioxidant activity and cytotoxicity against human cervical carcinoma cells. *Journal of Functional Foods*, v. 15, p. 509-515, 2015.
- KUMAR, S. N. A.; RITESH, S. K.; SHARMILA, G.; MUTHUKUMARAN, C. Extraction optimization and characterization of water soluble red purple pigment from floral bracts of *Bougainvillea glabra*. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 10, p. S2145-S2150, 2017.

- KUMAR, K.; SRIVASTAV, S.; SHARANAGAT, V. S. Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review. *Ultrasonics - Sonochemistry*, v. 70, 105325, 2021.
- KUROZAWA, L. E.; HUBINGER, M. D. Hydrophilic food compounds encapsulation by ionic gelation. *Current Opinion in Food Science*, v. 15, p. 50-55, 2017.
- LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. *Food Research International*, v. 107, p. 227-247, 2018.
- LAQUI-VILCA, C.; AGUILAR-TUESTA, S.; MAMANI-NAVARRO, W.; MONTAÑO-BUSTAMANTE, J.; CONDEZO-HOYOS, L. Ultrasound-assisted optimal extraction and thermal stability of betalains from colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) hulls. *Industrial Crops and Products*. V. 111, p. 606-614, 2018.
- LARHED, M.; MOBERG, C.; HALLBERG, A. Microwave-accelerated homogeneous catalysis in organic chemistry. *Accounts of Chemical Research*, v. 35, p. 717, 2002.
- LEE, K. Y.; MOONEY, D. J. Alginate: Properties and biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, v. 37, p. 106-126, 2012.
- LE MAUX, S.; BOUHALLAB, S.; GIBLIN, L.; BRODKORB, A.; CROGUENEC, T. Bovine β -lactoglobulin/fatty acid complexes: binding, structural, and biological properties. *Dairy Science & Technology*, v. 94, p. 409-426, 2014.
- LEONG, J. Y.; LAM, W. H.; HO, K. W.; VOO, W. P.; LEE, M. F. X.; LIM, H. P.; LIM, S. L.; TEY, B. T.; PONCELET, D.; CHAN, E. S. Advances in fabricating spherical alginate hydrogels with controlled particle designs by ionotropic gelation as encapsulation systems. *Particuology*, v. 24, p. 44-60, 2016.
- LI, H.; DENG, Z.; LIU, R.; ZHU, H.; DRAVES, J.; MARCONE, M., et al. 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, p. 75-81, 2015.
- LI, K.; ZHANG, L.; XUE, J.; YANG, X.; DONG, X.; SHA, L.; LEI, H.; ZHANG, X.; et al. Dietary inulin alleviates diverse stages of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in db/db mice. *Food & Function*, v. 10, p. 1915-1927, 2019.
- LI, R.; CHENG, Y.; TANG, N.; WU, L.; NIRASAWA, S.; JIA, X.; CAO, W. Rheological, structural and physicochemical characteristics of heat-induced egg albumin/sesbania gum mixed gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 163, p. 87-95, 2020.
- MADADI, E.; MAZLOUM-RAVASAN, S.; YU, J. S.; HA, J. W.; Hamishehkar, H.; Kim, K. H. Therapeutic Application of Betalains: A Review. *Plants*, v. 9, 1219, 2020.
- MADUREIRA, A. R.; PEREIRA, C. I.; GOMES, A. M. P.; PINTADO, M. E.; MALCATA, F. X. Bovine whey proteins - Overview on their main biological properties. *Food Research International*, v. 40, p. 1197-1211, 2007.
- MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; ASSADPOOR, E. Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: A review. *Drying Technology*, v. 32, p. 509-518, 2014.

- MANDAL, V.; MOHAN, Y.; HEMALATHA, S. Microwave assisted extraction of curcumin by sample-solvent dual heating mechanism using Taguchi L9 orthogonal design. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 46, p. 322-327, 2008.
- MARAN, P.J.; PRIYA, B.; NIVETHA, V. C. Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigments from *Bougainvillea glabra* flowers. *Industrial crops and products*, v. 63, p. 182-189, 2015.
- MARCHIORETTO, M. S.; LIPPERT, A. P. U.; da SILVA, V. L. Família Nyctaginaceae juss. no Rio Grande do Sul, Brasil. *PESQUISAS, BOTÂNICA*, n. 62, p. 129-162. São Leopoldo: Instituto Anchieta de Pesquisas, 2011.
- MARKANDAN, S.; ABDULLAH, A.; MUSA, K. H.; SUBRAMANIAM, V.; STOCKHAM, K. Determination of antioxidant activities, total phenolic and flavanoid contents in *Bougainvillea glabra* bracts at various methanol concentrations. *AIP Conference Proceedings*, 1784, 030038, 2016. <https://doi.org/10.1063/1.4966776>.
- MARTINS, N.; RORIZ, C. L.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Coloring attributes of betalains: a key emphasis on stability and future applications. *Food & Function*, v. 8, p. 1357-1372, 2017.
- MARTINEZ, R. M.; HOHMANN, M. S.; LONGHI-BALBINOT, D. T.; ZARPELON, A. C.; BARACAT, M. M.; GEORGETTI, S. R.; VICENTINI, F. T. M. C.; SASSONIA, R. C.; VERRI JR, W. A.; CASAGRANDE, R. Analgesic activity and mechanism of action of a Beta vulgaris dye enriched in betalains in inflammatory models in mice. *Infammopharmacology*, v. 28, p. 1663-1675, 2020.
- MCCLEMENTS, D. J. Non-covalent interactions between proteins and polysaccharides. *Biotechnology Advances*, v. 24, p. 621-625, 2006.
- MELLO, F. R.; BERNARDO, C.; DIAS, C. O.; GONZAGA, L.; AMANTE, E. R.; FETT, R.; CANDIDO, L. M. B. Antioxidant properties, quantification and stability of betalains from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *Ciência Rural*, v. 45, p. 323-328, 2015.
- MENSINK, M. A.; FRIJLINK, H. W.; MAARSCHALK, K. D. V.; HINRICHS, W. L. J. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, v. 130, p. 405-419, 2015.
- MEREDDY, R.; CHAN, A.; FANNING, K.; NIRMAL, N.; SULTANBAWA, Y. Betalain rich functional extract with reduced salts and nitrate content from red beetroot (*Beta vulgaris L.*) using membrane separation technology. *Food Chemistry*, v. 215, p. 311-317, 2017.
- MEYER, D. Health Benefits of Prebiotic Fibers. *Advances in Food and Nutrition Research*, v. 74, p. 47-91, 2015.
- MEYER, D.; BAYARRI, S.; TÁRREGA, A.; COSTELL, E. Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*, v. 25, p. 1881-1890, 2011.
- MICHAILIDIS, P. A.; KROKIDA, M. K.; *Drying and Dehydration Processes in Food Preservation and Processing*. In: *Conventional and Advanced Food Processing Technologies*; Bhattacharya, S., Ed.; John Wiley & Sons Ltd: Chichester, UK, p. 1-32, 2014.
- MINE, Y. Recent advances in the understanding of egg white protein functionally. *Trends in Food Science and Technology*, v.6, p.225- 231, 1995.

MOLINERA, C.; BARROS, L.; DIAS, M. I.; REIGADA, I.; FERREIRA, I.C.F.R.; LÓPEZ, V.; ELISA LANGA, E.; RINCÓN, C. G. *Viola cornuta* and *Viola x wittrockiana*: Phenolic compounds, antioxidant and neuroprotective activities on *Caenorhabditis elegans*. Journal of Food and Drug Analysis, 2019.

MUÑOZ-BERNAL, O. A.; CORIA-OLIVEROS, A. J.; DE LA ROSA, L. A.; RODRIGO-GARCÍA, J.; MARTÍNEZ-RUIZ, N. R.; SAYAGO-AYERDI, S. G.; ALVAREZ-PARRILLA, E. Cardioprotective effect of red wine and grape pomace. Food Research International, v. 140, 110069, 2021.

MUMTAZ, M. Z.; KAUSAR, F.; HASSAN, M.; SHAISTA JAVAID, S.; MALIK, A. Anticancer activities of phenolic compounds from *Moringa oleifera* leaves: in vitro and in silico mechanistic study. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. V. 10, p. 1-11, 2021.

MUTALIKDESAI, A.; NASSIR, M.; SAADY, A.; HASSNER, A.; GEDANKEN, A. Sonochemically modified ovalbumin enhances enantioenrichment of some aminoacids. Ultrasonics Sonochemistry, v. 58, 104603, 2019.

NASELLI, F.; TESORIERE, L.; CARADONNA, F.; BELLAVIA, D.; ATTANZIO, A., GENTILE, C.; LIVREA, M. A. Anti-proliferative and pro-apoptotic activity of whole extract and isolated indicaxanthin from *Opuntia ficus-indica* associated with re-activation of the oncosuppressor p16INK4a gene in human colorectal carcinoma (Caco-2) cells. Biochemical and Biophysical Research Communications, v. 450, p. 652-658, 2014.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. Journal of Chromatography A, v. 1054, p. 95-111, 2004.

NAPOLEON, A.; SWETHA, S.; ANGAJALA, G. "In-vitro antioxidant and antibacterial studies of betacyanin isolated from the bracts of *Bougainvillea glabra*," International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, v. 5, p. 84-87, 2013.

NEMZER, B.; PIETRZKOWSKI, Z.; SPÓRNA, A.; STALICA, P.; THRESHER, W.; MICHAŁOWSKI, T.; Wybraniec, S. Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. Food Chemistry, v. 127, p. 42-53, 2011.

OSORIO-TOBÓN, F. J. Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. Journal of Food Science and Technology, v. 57, n. 12, p. 4299-4315, 2020.

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; ITURRIAGA, L.; OSORIO, C.; NAZARENO, M. A. Encapsulating betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: Pigment chemical stability during storage of beads. Food Chemistry, v. 202, p. 373-382, 2016.

OTÁLORA, M. C.; CARRIAZO, J. G.; OSORIO, C.; NAZARENO, M. A. Encapsulation of cactus (*Opuntia megacantha*) betaxanthins by ionic gelation and spray drying: A comparative study. Food Research International, v. 111, p. 423-430, 2018.

ÖZBEK, Z. A.; ERGÖNÜL, P. G. A Review on Encapsulation of Oils. Celal Bayar University Journal of Science, v. 13, p. 293-309, 2017.

PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. Journal of Nutritional Science, v. 5, n. 47, p. 1-15, 2016.

PAP, N.; BESZÉDES, S., PONGRÁCZ, E., MYLLYKOSKI, L., GÁBOR, M., GYIMES, E.; HODÚR, C.; KEISKI, R. Microwave-assisted extraction of anthocyanins from black currant marc. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2666-2674, 2013.

PATIL, P.D.; RAO, C. R.; WASIF, A. I.; ANEKAR, S. V.; NAGLA, J. R. Mass transfer enhancement through optimization extraction of a natural dye from *Bougainvillea glabra* Juss. bracts. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, v. 5, n. 4, p. 332-337, 2014.

PÉREZ-RAMÍREZ, E.; LIMA, E.; GUZMÁN, A. Natural betalains supported on γ -alumina: A wide family of stable Pigments. *Dyes and Pigments*, v. 120, p. 161-168, 2015.

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, p. 313-322, 2018.

PIOVESANA, A.; NOREÑA, C. P. Z. Microencapsulation of Bioactive Compounds from Hibiscus Calyces Using Different Encapsulating Materials. *International Journal of Food Engineering*, v. 20170170, p. 1-9, 2018.

POLTURAK, G.; AHARONI, A. "La Vie en Rose": Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. *Molecular Plant*, v. 11, p. 7-22, 2018.

POSHADRI, A.; KUNA, A. Microencapsulation technology: a review. *Journal of Research ANGRAU*, v. 38, p. 86-102, 2010.

PROESTOS, C.; KOMAITIS, M. Application of microwave-assisted extraction to the fast extraction of plant phenolic compounds. *LWT- Food Science and Technology*, v. 41, p. 652-659, 2008.

PUDZIUVELYTE, L.; MARKSA, M.; SOSNOWSKA, K.; WINNICKA, K.; MORKUNIENE, R.; BERNATONIENE, J. Freeze-Drying Technique for Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* Ethanolic Extract Using Different Coating Materials. *Molecules*, v. 25, p. 2237, 2020.

QUATRIN, A.; RAMPELOTTO, C.; PAULETTO, R.; MAURER, L. H.; NICHELLE, S. M.; KLEIN, B.; RODRIGUES, R. F et al. Bioaccessibility and catabolism of phenolic compounds from jaboticaba (*Myrciaria trunciflora*) fruit peel during *in vitro* gastrointestinal digestion and colonic fermentation. *Journal of Functional Foods*, v. 65, 10314, 2020.

QUISPE-CONDORI, S.; SALDANA, M. D. A.; TEMELLI, F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. *LWT – Food Science and Technology*, v. 44, p. 1880-1887, 2011.

RAHIMI, P.; ABEDIMANESH, S.; MESBAH-NAMIN, S.A.; OSTADRAHIMI, A. Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 59, p. 2949-2978, 2018.

RAJABI, H.; GHORBANI, M.; JAFARI, S. M., MAHOONAK, A. S.; RAJABZADEH, G. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, v. 51, p. 327-337, 2015.

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*, 964731, 2014.

RAVICHAI, K.; MUANGRAT, R. Effect of different coating materials on freeze-drying encapsulation of bioactive compounds from fermented tea leaf wastewater. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 43, e14145, 2019.

RAVICHANDRAN, K.; SAW, N. M. M. T.; MOHDALY, A. A. A.; GABR, A. M. M., KASTELL, A.; RIEDEL, H et al. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, v. 50, p. 670-675, 2013.

RIVERA-HUERTA, M.; LIZÁRRAGA-GRIMES, V. L.; CASTRO-TORRES, I. G.; TINOCOMÉNDEZ, M.; MACÍAS-ROSALES, L.; SÁNCHEZ-BARTÉZ, F.; TAPIA-PÉREZ, G. G.; ROMERO-ROMERO, L.; GRACIA-MORA, M. I. Functional Effects of Prebiotic Fructans in Colon Cancer and Calcium Metabolism in Animal Models. *BioMed Research International*, v. 2017, p. 1-10, 2017.

ROBERFROID, M. B. Inulin-type fructans: Functional food ingredients. *The Journal of Nutrition*, v. 137, p. 2493-2502, 2007.

ROBERFROID, M. Introducing inulin-type fructans. *Brithis Journal of Nutrition*, v. 93, p. S13-S25, 2005.

ROBERFROID, M.; SLAVIN, J. Nondigestible oligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 40, p. 461-480, 2000.

RODRÍGUEZ, J.; MARTÍN, M. J.; RUIZ, M. A.; CLARES, B. Current encapsulation strategies for bioactive oils: From alimentary to pharmaceutical perspectives. *Food Research International*, v. 83, p. 41-59, 2016.

ROSSI, M.; CASIRAGHI, E.; PRIMAVESI, L.; POMPEI, C.; HIDALGO, A. Functional properties of pasteurised liquid egg products as affected by hygienic quality of the raw eggs. *LWT – Food Science and Technology*, v. 43, p. 436-441, 2010.

SÁ, C.F.C. *Nyctaginaceae*. In: *Catálogo de plantas e fungos do Brasil*, volume 2. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SADEGHI, A.; HAKIMZADEH, V.; KARIMIFAR, B. Microwave Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Food: A Review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, v. 7, p. 19-27, 2017.

SALEEM, H.; ZENGİN, G.; AHMAD, I.; LEE, J. T. B.; HTAR, T. T.; MAHOMOODALLY, F. M.; NAIDU, R.; AHMAD, N. Multidirectional insights into the biochemical and toxicological properties of *Bougainvillea glabra* (Choisy.) aerial parts: A functional approach for bioactive compounds. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 170, p. 132-138, 2019.

SALEEM, H.; HTAR, T. T.; NAIDU, R.; ANWAR, S.; ZENGİN, G.; LOCATELLI, M.; AHMAD, N. HPLC–PDA Polyphenolic Quantification, UHPLC–MS Secondary Metabolite Composition, and In Vitro Enzyme Inhibition Potential of *Bougainvillea glabra*. *Plants*, v. 9, n. 388, 2020.

SALEEM, H.; USMAN, A.; MAHOMOODALLY, M. F.; AHMAD, N. *Bougainvillea glabra* (choisy): A comprehensive review on botany, traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicity. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 226, 113356, 2021.

SALIH, E.; KANNINEN, M.; SIPI, M.; LUUKKANEN, O.; HILTUNEN, R.; VUORELA, H.; JULKUNEN-TIITTO, R.; FYHRQUIST, P. Tannins, flavonoids and stilbenes in extracts of african

savanna woodland trees *Terminalia brownii*, *Terminalialaxi flora* and *Anogeissus leiocarpus* showing promising antibacterial potential. South African Journal of Botany, v. 108, p. 370-386, 2017.

SANCHEZ-GONZALEZ, N.; JAIME-FONSECA, M. R.; SAN MARTIN-MARTINEZ, E.; ZEPEDA, L. G. Extraction, stability, and separation of betalains from *Opuntia joconostle* cv. using response surface methodology. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 61, p. 11995-12004, 2013.

SCHOLZ-AHRENS, K.; SCHREZENMEIR, J. Inulin and oligofructose and mineral metabolism: the evidence from animal trials. Journal of Nutrition, v. 137, p. 2513S-23S, 2007.

SETYANINGSIH, W.; SAPUTRO, I. F.; CARRERA, C. A.; PALMA, M. Optimisation of an ultrasound-assisted extraction method for the simultaneous determination of phenolics in rice grains. Food Chemistry, v. 228, p. 221-227, 2019.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. Critical Review in Food Science and Nutrition, v. 33, p. 501-547, 1993.

SHALINI, M.; AMINAH, A.; KHALID, H.M.; VIMALA, S.; KATHERINE, S.; KHOO, M. G. H. In-vitro Antioxidant Activities, Phytoconstituent and Toxicity Evaluation of Local *Bougainvillea glabra* Bract. International Journal of ChemTech Research, v. 11, n. 09, p. 22-30, 2018.

SHARIF, M. K.; SALEEM, M.; JAVED, K. Food Materials Science in Egg Powder Industry. In: Role of Materials Science in Food Bioengineering, Handbook of Food Bioengineering, p. 505-537, 2018.

SHOAIB, M.; SHEHZAD, A.; OMAR, M.; RAKHA, A.; RAZA, H.; SHARIF, H. R.; SHAKEEL, A.; ANSARI, A.; NIAZI, S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. Carbohydrate Polymers, v. 147, p. 444-454, 2016.

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- κ B) signaling pathway. Biomedicine & Pharmacotherapy, v. 137, 111369, 2021.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. Ciências Agrárias, v. 31, p. 669-682, 2010.

SINGANUSONG, R.; NIPORNRAM, S.; TOCHAMPA, W.; RATTANATRAIWONG, P. Low power ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from mandarin (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sainampueng) and lime (*Citrus aurantifolia*) peels and the antioxidant. Food Analytical Methods, v. 8, p. 1112-1123, 2015.

SINGH, M. N.; HEMANT, K. S. Y.; RAM, M.; SHIVAKUMAR, H. G. Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery. Research in Pharmaceutical Sciences, v. 5, p. 65-77, 2010.

SINHA, K.; SARA, 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, p. 408-414, 2012.

SLATNAR, A.; STAMPAR, F.; VEBERIC, R.; JAKOPIC, J. HPLC-MSⁿ identification of betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) parts and cultivars. Journal of Food Science, v. 80, p. 1952-1958, 2015.

- SLAVIN, J. Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits. *Nutrients*, v. 5, p. 1417-1435, 2013.
- SOQUETTA, M. B.; TERRA, L. DE M.; BASTOS, C. P. Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CyTA - Journal of Food*, v. 16, p. 400-412, 2018.
- STAFFORD, H. A. Anthocyanins and Betalains - Evolution of the Mutually Exclusive Pathways. *Plant Science*, v. 101, n. 2, p. 91-98, 1994.
- STEGLICH, W.; STRACK, D. The Alkaloids, Chemistry and Pharmacology (Brossi, A., ed.), v. 39, p. 1-62. Academic Press, 1990.
- STEVENS, C.; MERIGGI, A.; BOOTEN, K. Chemical modification of inulin, a valuable renewable resource, and its industrial applications. *Biomacromolecules*, v. 2, p. 1-16, 2001.
- STOWELL, J. D. Prebiotic Potential of Polydextrose. In: Charalampopoulos D., Rastall R.A. (eds) *Prebiotics and Probiotics Science and Technology*. Springer, New York, p. 337-352, 2009.
- STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*, v. 62, p. 247-269, 2003.
- SUMAYA-MARTÍNEZ, M. T.; CRUZ-JAIME, S.; MADRIGAL-SANTILLÁN, E.; GARCÍA-PAREDES, J. D.; CARIÑO-CORTÉS, R.; CRUZ-CANSINO, N., et al. Betalain, acid ascorbic, phenolic contents and antioxidant properties of purple, red, yellow and white cactus pears. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 12, p. 6452-6468, 2011.
- SUMERE, B. R.; DE SOUZA, M.C.; DOS SANTOS, M. C.; BEZERRA, R. M. N.; DA CUNHA, D. T.; MARTINEZ, J.; ROSTAGNO, M. A. Combining pressurized liquids with ultrasound to improve the extraction of phenolic compounds from pomegranate peel (*Punica granatum* L.). *Ultrasonics-Sonochemistry*, v. 48, p. 151-162, 2018.
- TADINI, C. C, NICOLETTI, V. R., MEIRELLES, A. J. A., PESSOA, P. A. F. Operações Unitárias na Indústria de Alimentos. São Paulo: Editorial: LTC, 2016, v.2, 483p.
- TAI, C. S.; CHEN, Y. Y.; CHEN, W. L. β -Lactoglobulin Influences Human Immunity and Promotes Cell Proliferation. *Biomed Research International*, 7123587, 1-12, 2016.
- TANASE, C.; COSARCĂ, S.; MUNTEAN, D. L. A Critical Review of Phenolic Compounds Extracted from the Bark of Woody Vascular Plants and Their Potential Biological Activity. *Molecules*, v. 24, 1182, 2019.
- TIWARI, B. K. Ultrasound: a clean, green extraction technology. *Trends in Analytical Chemistry*, v. 71, p. 100-109, 2015.
- TOMAS, M.; ROCCHETTI, G.; GHISONI, S.; GIUBERTI, G.; CAPANOGLU, E.; LUCINI, L. Effect of different soluble dietary fibres on the phenolic profile of blackberry puree subjected to *in vitro* gastrointestinal digestion and large intestine fermentation. *Food Research International*, v. 130, 108954, 2020.
- TSUKUI, A.; REZENDE, C. M. Extração Assistida por Micro-ondas e Química Verde. *Revista Virtual de Química*, v. 6, p. 1713-1725, 2014.

TUNGLAND, B. Overview of Prebiotics: Membership, Physiological Effects and their Health Attributes. In: Human Microbiota in Health and Disease. Chapter 7. From Pathogenesis to Therapy, v. 289-348, 2018.

TURPAEV, K.T. Keap1-Nrf2 signaling pathway: mechanisms of regulation and role in protection of cells against toxicity caused by xenobiotics and electrophiles. *Biochemistry (Mosc)* v. 78, p. 111-126, 2013.

TYSZKA-CZOCHARA, M.; PASKO, P.; ZAGRODZKI, P.; GAJDZIK, E.; WIETECHAPOSLUSZNY, R.; GORINSTEIN, S. Selenium Supplementation of amaranth sprouts influences betacyanin content and improves anti-inflammatory properties via NFκB in murine RAW 264.7 macrophages. *Biological Trace Element Research*, v. 169, p. 320-330, 2016.

VAN ACQUIRE, S. A. Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids. *Free Radical Biology & Medicine*, v. 20, p. 331-342, 1996.

VIDAL, P. J.; LÓPEZ-NICOLÁS, J. M.; GANDÍA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Inactivation of lipoxygenase and cyclooxygenase by natural betalains and semi-synthetic analogues. *Food Chemistry*, v. 154, p. 246-254, 2014.

VISCIONE, L. Fibre-enriched beverages. In: *Fibre-Rich and Wholegrain Foods - Improving Quality*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, p. 369-388, 2013.

VORAGEN, G. J. A. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends in Food Science & Technology*, v. 9, p. 328-335, 1998.

VULIĆ, J. J.; ĆEBOVIĆ, T. N.; ČANADANOVIĆ, V. M.; ĆETKOVIĆ, G. S.; DJILAS, S. M.; ČANADANOVIĆ-BRUNET, J. M et al. Antiradical, antimicrobial and cytotoxic activities of commercial beetroot pomace. *Food & Function*, v. 4, p. 713-721, 2013.

WANG, L.; WELLER, C. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, v. 17, n. 6, p. 300-312, 2006.

WENZEL, G. E. Carbohidratos nutracêuticos e/ou prebióticos. Ed. Unisinos, 361p, 2012.

WILCZEWSKA, A. Z.; NIEMIROWICZ, K.; MARKIEWICZ, K. H.; CAR, H. Nanoparticles as drug delivery systems. *Pharmacological Reports*, v. 64, p. 1020-1037, 2012.

WRUSS, J.; WALDENBERGER, G.; HUEMER, S.; UYGUN, P.; LANZERSTORFER, P.; MÜLLER, U., et al. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 42, p. 46-55, 2015.

WU, J.; ACERO-LOPEZ, A. Ovotransferrin: Structure, bioactivities, and preparation. *Food Research International* v. 46, p. 480-487, 2012.

YAHIA, E. M.; MONDRAGON-JACOBO, C. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Food Research International*, v. 44, p. 2311-2318, 2011.

YANG, J. S.; XIE, Y. J.; HE, W. Research progress on chemical modification of alginate: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 84, p. 33-39, 2011.

ZHANG, M.; AN, C.; GAO, Y.; LEAK, R.K.; CHEN, J.; ZHANG, F. Emerging roles of Nrf2 and phase II antioxidant enzymes in neuroprotection. *Progress in Neurobiology*, v. 100, p. 30-47, 2013.

ZHANG, X.; YUE, X.; MA, B.; FU, X.; REN, H.; MA, M. Ultrasonic pretreatment enhanced the glycation of ovotransferrin and improved its antibacterial activity. *Food Chemistry*, v. 346, 128905, 2021.

ZUIDAM, N.J.; SHIMONI, E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In: Zuidam, N. J. and Nedović, V. A. (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, LLC, p. 3-30, 2010.