

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE FARMÁCIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO LEITE E**  
**DERIVADOS**

**João Paulo Moreira**

Aplicação de proteínas lácteas no processo de microencapsulação de compostos  
fenólicos naturais por *spray drying* – Estudo de Revisão

Juiz de Fora  
2021

**João Paulo Moreira**

Aplicação de proteínas lácteas no processo de microencapsulação de compostos  
fenólicos naturais por *spray drying* – Estudo de revisão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Mirian Pereira Rodarte

Coorientador: Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Moreira, João Paulo.

Aplicação de proteínas lácteas no processo de microencapsulação de compostos fenólicos naturais por "spray drying" – Estudo de revisão. / João Paulo Moreira. - 2021. 65 f.: Il.

Orientadora: Mirian Pereira Rodarte

Coorientador: Ítalo Tuler Perrone

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e Bioquímica. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, 2021.

1. Proteínas Lácteas. 2. Micropartículas. 3. Secagem por atomização. 4. Fenólicos. 5. Antioxidante. I. Rodarte, Mirian Pereira, orient. II. Perrone, Ítalo Tuler, coorient. III. Título.

**João Paulo Moreira**

Aplicação de proteínas lácteas no processo de microencapsulação de compostos  
fenólicos naturais por *spray drying* – Estudo de Revisão

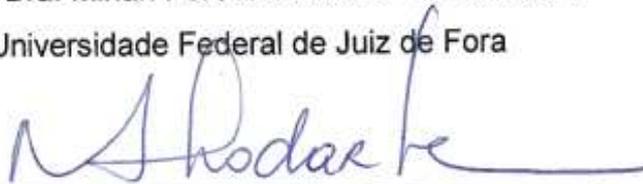
Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia  
do Leite e Derivados da Universidade  
Federal de Juiz de Fora como requisito  
parcial à obtenção do título de Mestre em  
Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados.  
Área de concentração: Ciência e  
Tecnologia do Leite e Derivados

Aprovado em 21 de setembro de 2021

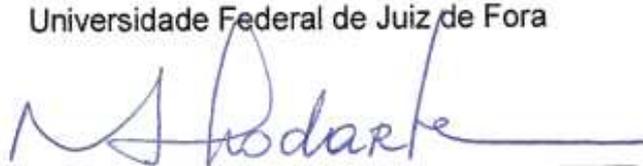
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª Dra. Mirian Pereira Rodarte - Orientadora  
Universidade Federal de Juiz de Fora



p/ Prof.ª Dra. Juliana de Carvalho da Costa  
Universidade Federal de Juiz de Fora



p/ Prof.ª Dra. Martha Eunice de Bessa  
Faculdade UniAcademia

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida e pela oportunidade de realizar este curso de pós-graduação.

À minha mãe Maria e ao meu pai Horácio pelo apoio e orações durante a caminhada até a conclusão desse curso. Meus irmãos Paulo, Vera e Eduarda pelo carinho e acolhida durante momentos de adversidades.

À minha orientadora prof.<sup>a</sup> Dra. Mirian Pereira Rodarte e ao meu coorientador prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone pela orientação, conselhos e ensinamentos durante a elaboração desse trabalho.

Aos professores Humberto e Juliana pelas correções, conselhos e ensinamentos dados durante a elaboração dessa dissertação.

Aos alunos e professores dos laboratórios de Produtos Naturais Bioativos do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora e do Laboratório de Química e Tecnologia (QUIMTEC) do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora pelo auxílio e apoio em experimentos preliminares. Pesquisas preliminares que, infelizmente, não puderam ser continuadas devido ao isolamento social imposto por esse triste momento de pandemia de Covid-19.

Aos professores, técnicos, estudantes de graduação e pós-graduação da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Juiz de Fora pela ajuda durante a realização de testes preliminares.

À Universidade Federal de Juiz de Fora, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG-ILCT) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Gado de Leite e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados pela oportunidade de realização deste curso.

À Pró-Reitora de Gestão de Pessoas (PROGEPE) por meio do Programa de Apoio à Qualificação (PROQUALI) pela bolsa de estudos concedida.

## RESUMO

A demanda por produtos alimentícios com alegações funcionais é crescente nos últimos anos. No entanto, muitas substâncias bioativas apresentam limitações tecnológicas para utilização como ingredientes na indústria de alimentos. Uma das formas de otimizar essa aplicação é a utilização da técnica de microencapsulação por *spray drying* das substâncias de interesse. Entre os diversos carreadores e agentes de encapsulamento usados atualmente, destacam-se as proteínas lácteas. Devido ao seu alto valor nutricional, as proteínas também agregam valor a esses produtos. O objetivo desta revisão é apresentar as principais pesquisas dos últimos anos que utilizaram essas fontes proteicas como protetores de compostos fenólicos naturais. Para isso, foi realizada uma busca de artigos dos últimos cinco anos nos sites PubMed, Web of Sciences e Scopus. Essa revisão apresenta os principais conceitos envolvendo proteínas lácteas e microencapsulação de compostos fenólicos. Todo o processo de elaboração das micropartículas, desde a extração de fenólicos até a sua liberação em condições gastrointestinais é discutido neste trabalho. De acordo com os trabalhos avaliados, os produtos derivados de proteínas lácteas, usados isoladamente ou combinados com outros polímeros, são opções viáveis e promissoras na proteção de compostos fenólicos naturais.

**Palavras-chaves:** Antioxidante, Secagem por atomização, Micropartículas, Fenólicos, Proteínas Lácteas.

## **ABSTRACT**

The demand for food products with functional claims has been growing in recent years. However, many bioactive substances have technological limitations for use as ingredients in the food industry. One of the ways to optimize this application is the use of the microencapsulation technique by spray drying the substances of interest. Among the various carriers and encapsulation agents currently used, dairy proteins stand out. Due to their high nutritional value, proteins also add value to these products. This work aims to summarize recent findings regarding the application of these protein sources as protectors of natural phenolic compounds. For this purpose, a search for articles from the last five years was carried out on the PubMed, Web of Sciences and Scopus websites. This review presents the main concepts involving milk proteins and microencapsulation of phenolic compounds. Additionally, the discussion addresses the whole process of microparticles production, from the extraction of phenolics to their release under gastrointestinal conditions. According to the studies evaluated, products derived from dairy proteins, used alone or combined with other polymers, are viable and promising options to protect natural phenolic compounds.

**Keywords:** Antioxidant, spray drying, microparticles, phenolics, milk proteins.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>9</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	9
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
4.1	PROTEÍNAS LÁCTEAS .....	11
4.1.1	Caseínas .....	12
4.1.2	Proteínas do soro .....	14
4.1.3	Produtos derivados de proteínas lácteas .....	15
4.1.4	Aspectos tecnológicos e nutricionais das proteínas lácteas .....	18
4.2	PROCESSO DE MICROENCAPSULAÇÃO .....	20
4.2.1	Técnica de microencapsulação por <i>spray drying</i> .....	22
4.3	COMPOSTOS FENÓLICOS .....	24
4.4	USO DE PROTEÍNAS LÁCTEAS NA MICROENCAPSULAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS .....	26
4.4.1	Formulação da solução com o agente de encapsulamento .....	41
4.4.2	Variáveis operacionais do <i>spray dryer</i> .....	43
4.4.3	Caracterização das micropartículas .....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há um aumento no número de consumidores que buscam por produtos que apresentem ingredientes naturais contendo compostos bioativos benéficos à saúde. Essa demanda propicia, principalmente na indústria de alimentos, o desenvolvimento de formulações mais saudáveis, utilizando componentes naturais. No entanto, alguns desses constituintes, como os compostos fenólicos, possuem limitações na aplicação industrial devido a sabores desagradáveis, vulnerabilidade à oxidação pela luz, oxigênio e umidade. Além disso, as condições gastrointestinais podem limitar a sua biodisponibilidade durante o consumo. O processo de microencapsulação pode formar uma barreira em torno do bioativo e contribuir amenizando essas limitações (AGUIAR; ESTEVINHO; SANTOS, 2016).

Estudos *in vitro* demonstraram que substâncias fenólicas apresentam diversas atividades biológicas, podendo proporcionar efeitos benéficos à saúde (BAUER *et al.*, 2018; GOUTHAMCHANDRA *et al.*, 2017; YAN *et al.*, 2017). Essas substâncias bioativas, presentes em boa parte dos produtos vegetais, podem ser extraídas e incorporadas em outros produtos alimentícios (ŚWIECA *et al.*, 2017). As técnicas de microencapsulação são uma das ferramentas utilizadas no desenvolvimento de produtos para essa finalidade (GRGIĆ *et al.*, 2020).

Dentre as diversas técnicas (liofilização, métodos químicos, entre outras), a microencapsulação por *spray drying* (secagem por atomização) é bastante utilizada na proteção de ingredientes, como corantes, vitaminas, minerais, óleos e compostos naturais. É uma operação unitária contínua e rápida, com o controle de parâmetros automatizado, sendo aplicada inclusive a materiais sensíveis ao calor. Nesse processo, os polissacarídeos e as proteínas podem ser utilizados como agentes de encapsulamento (KESHANI *et al.*, 2015).

Alguns produtos lácteos, como as caseínas, os caseinatos, as proteínas do leite concentradas e as proteínas do soro são biopolímeros naturais que podem ser utilizados como agentes de encapsulamento no processo de microencapsulação. Devido ao seu alto valor nutricional, as proteínas também agregam valor aos produtos desenvolvidos (TAVARES *et al.*, 2014).

Diante do exposto, o objetivo dessa revisão foi discutir as principais pesquisas dos últimos anos que utilizaram produtos derivados de proteínas lácteas como agentes carreadores e/ou protetores na microencapsulação por *spray drying* de

compostos fenólicos a fim de viabilizar a sua aplicabilidade industrial. O trabalho aborda as pesquisas recentes e relevantes neste campo, faz uma abordagem técnica desde o processo de extração dos fenólicos até seu perfil de liberação das micropartículas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar uma revisão narrativa com base em pesquisas científicas dos últimos anos que utilizaram produtos à base de proteínas lácteas como agentes carreadores e/ou protetores de compostos fenólicos com potencial aplicação na indústria de alimentos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentar as proteínas lácteas empregadas no processo de microencapsulação de compostos fenólicos por *spray drying*, bem como os principais métodos utilizados.

Compreender os métodos analíticos empregados na caracterização dos produtos, considerando suas propriedades físicas e bioatividade.

Identificar as principais aplicações de compostos fenólicos encapsulados na indústria de alimentos.

Apresentar um levantamento dos principais trabalhos científicos sobre a utilização de proteínas lácteas como agentes de encapsulamento de compostos fenólicos.

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho buscou artigos em inglês dos últimos cinco anos (maio de 2016 a junho de 2021). As plataformas de busca foram os sites: *PubMed*, *Web of Sciences* e *Scopus*. Essa pesquisa foi realizada com as seguintes palavras chaves e operadores booleanos: *spray AND encapsulation AND milk protein OR milk powder OR casein OR caseinate OR whey protein*.

Dessa pesquisa preliminar foram excluídos artigos que tratavam de nanoencapsulação e/ou microencapsulação de bioativos naturais que não são classificados como compostos fenólicos, além disso, foram excluídos trabalhos com óleos, ácidos graxos, microrganismos e peptídeos bioativos. A pesquisa foi focada apenas na utilização de proteínas lácteas no processo de microencapsulação de compostos fenólicos (ácidos fenólicos, taninos e flavonoides) com potencial aplicação na indústria de alimentos.

Após a exclusão dessas pesquisas que não atendiam ao objetivo desse trabalho, foram selecionados 41 artigos. A temática foi subdividida em: conceitos teóricos relacionados às proteínas lácteas, à microencapsulação e aos compostos fenólicos; aspectos tecnológicos na formulação das soluções antes e durante o processo em *spray dryer*; e por fim, as principais técnicas e resultados na caracterização do produto microencapsulado.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 PROTEÍNAS LÁCTEAS

As proteínas são o componente do leite de maior valor agregado. Devido à sua importância para o rendimento e qualidade de produtos lácteos, alguns países as utilizam como indicadores de qualidade na valoração do preço do leite (DUPONT *et al.*, 2013).

O leite pode ser definido como um líquido biológico complexo secretado pela glândula mamária de fêmeas de mamíferos. Esse líquido atende à demanda nutricional de seus descendentes recém-nascidos. Sua composição em macro e micronutrientes varia de acordo com as características da espécie, raça, saúde, estado nutricional, estágio de lactação, idade, entre outros interferentes (FOX *et al.*, 2015).

O principal leite utilizado na alimentação humana é o de origem bovina. Existe uma tendência mundial de aumento na produção de leite, devido às estimativas do aumento populacional e das melhorias nas condições socioeconômicas de países emergentes. Com isso, o leite e seus derivados são fontes de proteínas capazes de nutrir muitas pessoas ao redor do mundo (BRITT *et al.*, 2018; LAGRANGE; WHITSETT; BURRIS, 2015).

A composição do leite varia de acordo com fatores ambientais e com a espécie do animal, sendo que o leite de vaca apresenta a seguinte composição média de macronutrientes e micronutrientes: 3% de gordura (m/m), 2,9% de proteína (m/m); 4,3 % de lactose anidra (m/m) e 11,4% de sólidos totais (m/m) (BRASIL, 2018).

A composição físico-química do leite pode ser dividida em três fases. A primeira é composta por uma fase aquosa com lactose, sais orgânicos e inorgânicos, vitaminas e células somáticas. A segunda apresenta uma fase emulsificada, composta por glóbulos de lipídios. A terceira fase manifesta-se por estruturas dispersas que formam as proteínas do leite, algumas em agregados coloidais (caseínas) e outras em estruturas de nível molecular que são conhecidas como proteínas do soro (FOX *et al.*, 2015).

Os leites de vaca, de cabra e de ovelha apresentam aproximadamente 80% de caseínas e 20% de proteínas do soro. Essas proteínas representam 95% do teor de nitrogênio no leite, os outros 5% restantes são classificados como nitrogênio não

proteico. A diferença entre essas estruturas é importante para tecnologia de fabricação de produtos lácteos. A micela de caseína não apresenta solubilidade em seu pH isoelétrico de 4,6, enquanto as do soro são solúveis a esse pH (GOULDING; FOX; O'MAHONY, 2020). A Tabela 1 apresenta as principais proteínas do leite e suas concentrações.

Tabela 1 - Concentrações das principais proteínas do leite.

<b>Caseína</b>	Micela de caseína	26 g/kg
	Caseína $\alpha$ -s <sub>1</sub>	10,7 g/kg
	Caseína $\alpha$ -s <sub>2</sub>	2,8 g/kg
	Caseína $\beta$	8,6 g/kg
	Caseína $\kappa$	3,1 g/kg
<b>Proteínas do soro (g/kg)</b>	$\beta$ -Lactoglobulina	3,2 g/kg
	$\alpha$ -lactalbumina	1,2 g/kg
	BSA	0,4 g/kg
	Lactoferrina	0,1 g/kg

Fonte: Adaptado de TAVARES *et al.* (2014).

A quantificação de proteínas no leite pode ser obtida pelo método de *Kjeldahl* ou por métodos que empregam o infravermelho. Além da quantificação de proteínas totais, é possível analisar a subdivisão de diversas partes proteicas presentes no leite. Essa separação e quantificação são realizadas por técnicas analíticas, como por exemplo, eletroforese e métodos imunoquímicos. Essas análises podem ser utilizadas para detectar adulterações, avaliar interações e modificações em níveis moleculares ou supramoleculares que ocorrem durante a etapa de processamento e ou armazenamento do leite e de produtos lácteos (DUPONT *et al.*, 2013).

#### 4.1.1 Caseínas

Quando as caseínas foram estudadas pela primeira vez, os cientistas as consideravam uma estrutura homogênea. No entanto, a partir de 1920, com o avanço das técnicas de eletroforese em gel, foi possível separar sua estrutura em diversas partes. Hoje a caseína bovina apresenta quatro grupos principais denominados de  $\alpha$ -s<sub>1</sub>,  $\alpha$ -s<sub>2</sub>,  $\beta$  e  $\kappa$ -caseínas que estão na proporção de 37%, 10%, 35% e 12%,

respectivamente, do conteúdo total da caseína presente no leite. As caseínas apresentam alta capacidade de ligar-se com a água. Essa característica tem por finalidade aumentar a viscosidade de diversos produtos alimentícios (FOX *et al.*, 2015).

As caseínas se unem formando um agregado complexo (micelas de caseínas). São classificadas como fosfoproteínas, pois apresentam grupamentos de fosfoserina em sua estrutura. Na literatura científica, existem divergências sobre como é a organização interna da micela de caseína. Foram propostos alguns modelos visando explicar sua organização interna: o primeiro modelo teórico é a estrutura de submicelas, por essa teoria a micela de caseína é composta por subunidades ligadas pelo fosfato de cálcio; já o segundo modelo é denominado de *nanocluster de Holt*, essa teoria explica que o fosfato de cálcio coloidal forma interações conhecidas como *nanoclusters*, que são distribuídos aleatoriamente, formando um reticulado tridimensional de moléculas de caseína; e por fim o modelo denominado de dupla ligação de *Horne*, que relata que a interação entre as caseínas ocorre por duas vias, a primeira via é a reticulação das regiões hidrofóbicas da estrutura da caseínas e a segunda via é por meio de uma ponte formada por estruturas nanoaglomeradas de fosfato de cálcio (HORNE, 2020).

Apesar dessas diferentes teorias sobre o modelo teórico de interação entre as caseínas, é possível observar por microscopia eletrônica que essas proteínas do leite se apresentam em forma de micelas coloidais dispersas como partículas esféricas de tamanhos que variam de diâmetro de 80 a 550 nm. Estruturalmente, a  $\kappa$ -caseína, que fica na parte externa, é responsável pela estabilidade da micela de caseínas no meio aquoso do leite (SILVA *et al.*, 2019). Existem  $10^{14}$  a  $10^{16}$  micelas de caseínas por ml de leite. As dimensões coloidais da micela espelham grande parte da luz e por isso são responsáveis pela coloração branca do leite (HORNE, 2020).

A caseína apresenta modificações em sua estrutura supramolecular durante o seu processamento. Variações de temperatura, pH, cálcio, adição de enzimas e outros componentes alimentícios interferem nessa estrutura. O desenvolvimento de produtos demanda o conhecimento e o controle dessas variáveis. A alteração de pH, por exemplo, provoca a aglomeração dessas estruturas, formado um gel de caseínas. Esse fenômeno é responsável pela textura de produtos como queijos e iogurtes (MCMAHON; OOMMEN, 2013). Além da caseína, o conhecimento sobre as

características das proteínas do soro é relevante para o desenvolvimento de produtos à base de proteínas lácteas.

#### 4.1.2 Proteínas do soro

Essa classe de proteínas corresponde a 20% do teor de proteínas presente no leite. Apresentam como características: solubilidade em pH 4,6 e solubilidade em solução de cloreto de sódio saturada (FOX *et al.*, 2015). Outras diferenças, quando comparadas às caseínas, são demonstradas no quadro 1.

Quadro 1 - Características físico-químicas das caseínas e proteínas do soro durante o processamento.

Caseínas	Proteínas do soro
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentam poucas estruturas secundárias estáveis (estrutura aberta e flexível)</li> <li>• Suscetíveis à proteólise.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais hidrofóbicas.</li> </ul> </li> <li>• Estáveis quando aquecida a 100 °C por 24 h.</li> <li>• Tendência de se associarem.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Insolúveis em pH 4,6.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estruturas que compõem essas proteínas são organizadas.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistentes à proteólise.                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mais hidrofílicas.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Desnaturaram-se completamente em aquecimento a 90 °C por 10 min.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispersas molecularmente.                   <ul style="list-style-type: none"> <li>• Solúveis em pH 4,6.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

Fonte: GOULDING; FOX; O'MAHONY (2020).

A solubilidade dessas proteínas em sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>) permitiu dividi-las entre as que formavam estruturas insolúveis, compostas pelas imunoglobulinas IgG1, IgG2, IgA e IgM e as que ficaram solúveis em MgSO<sub>4</sub> composta pelas três proteínas principais do soro: β-lactoglobulina (β-Ig), α-lactoalbumina e albumina do soro sanguíneo (BSA). Grande parte das proteínas do soro é composta por cerca de 50% de β-Ig, 20% de α-lactoalbumina e 10% de BSA. Ainda estão presentes no soro pequenas quantidades de outras proteínas, como exemplo: lactoferrina, serotransferrina e enzimas (FOX *et al.*, 2015).

A principal proteína globular do soro, β-Ig, tem a propriedade de ligar-se a outros compostos. Pode ser considerada como uma proteína com ampla variedade de ligantes possíveis, como por exemplo, vitaminas e ácidos graxos. Essa

funcionalidade de interação pode ser utilizada para proteger compostos e por isso ser utilizada com o objetivo de desenvolver produtos de interesse da indústria de alimentos (SAWYER, 2013).

Entre interações possíveis, destaca-se a possível interação com compostos fenólicos dietéticos. Cita-se como exemplo: ácido cafeico, ácidos clorogênicos, epigalo-catequina 3-galato. Segundo pesquisas, essa interação pode alterar a estrutura da  $\beta$ -lg e contribuir para o desenvolvimento de alimentos hipoalérgicos (ABD EL-MAKSOUUD *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2018). Isso decorre pelo fato da  $\beta$ -lg ser a principal proteína a desencadear reações alérgicas em humanos, sendo esse efeito adverso conhecido como alergia do leite de vaca. Essa reação tem como característica principal a resposta imunológica imediata em recém-nascidos (DHESI *et al.*, 2020).

Essas características estruturais das duas principais classes de proteínas do leite exercem influência no momento de elaboração de produtos derivados do leite, inclusive de produtos proteicos específicos.

#### 4.1.3 Produtos derivados de proteínas lácteas

Produtos à base de proteínas do leite são geralmente produzidos para serem comercializados em forma de pós ou de concentrados líquidos. Os diversos produtos à base dessas proteínas diferem na composição de nutrientes, perfil de proteínas, propriedades funcionais e aplicações. Existem processos inovadores na tecnologia de fabricação, isso eleva o número de produtos disponíveis para comercialização. De acordo com o quadro 2, existem três grupos principais de produtos: os derivados das proteínas do leite, os derivados das caseínas e os derivados das proteínas do soro (GOULDING; FOX ; O'MAHONY, 2020).

Quadro 2 – Exemplos de produtos derivados de proteínas lácteas.

Tipos de proteínas	Principais produtos
A) Produtos derivados das proteínas do leite	1. Leite em pó integral (WMP do inglês <i>whole milk powder</i> ); 2. Leite em pó desnatado (SMP do inglês <i>skim milk powder</i> );

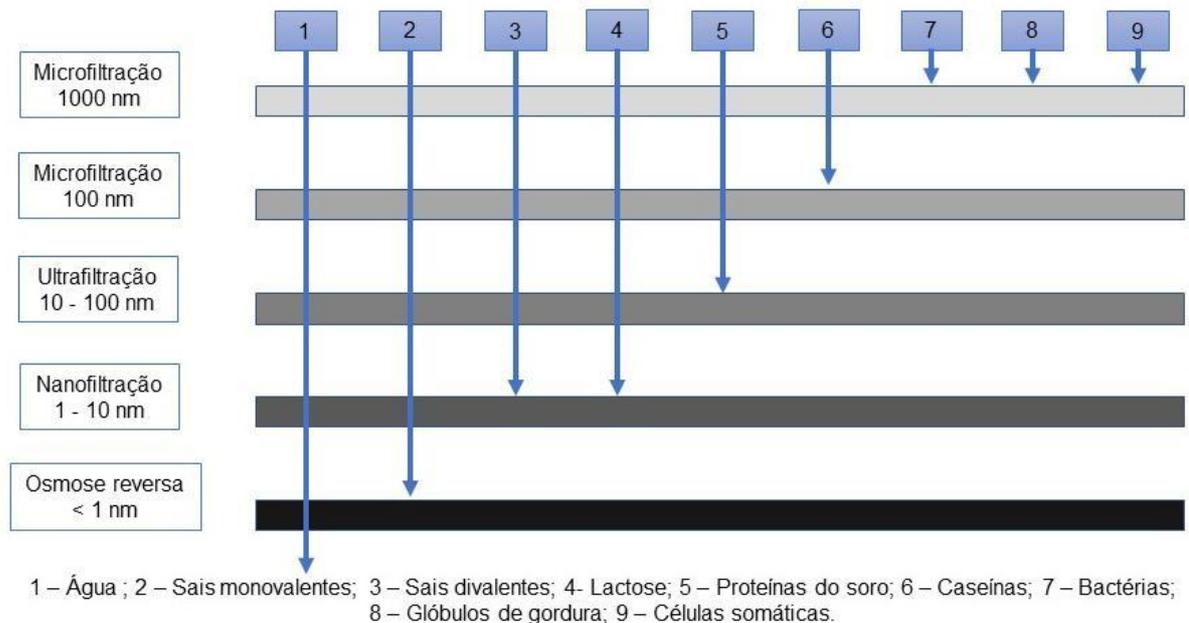
	3. Leite em pó enriquecido (EMP do inglês <i>enriched milk powder</i> ).
B) Produtos derivados das caseínas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Concentrado de proteína do leite (MPC do inglês <i>milk protein concentrate</i>);</li> <li>2. Isolado de proteína do leite (MPI do inglês <i>milk protein isolate</i>);</li> <li>3. Caseína ácida;</li> <li>4. Caseína de coalho;</li> <li>5. Caseinatos;</li> <li>6. Concentrados de caseína micelar (MCC do inglês <i>micellar casein concentrates</i>);</li> <li>7. Isolados de caseína micelar (MCI do inglês <i>micellar casein isolate</i>).</li> </ol>
C) Produtos derivados das proteínas do soro do leite	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Soro em pó (WP do inglês <i>whey powder</i>);</li> <li>2. Concentrado de proteína de soro (WPC do inglês <i>whey protein concentrate</i>);</li> <li>3. Isolado de proteína do soro de leite (WPI do inglês <i>whey protein isolate</i>);</li> <li>4. Hidrolisados de proteína de soro de leite (WPH do inglês <i>whey protein hydrolyzates</i>);</li> <li>5. WPC enriquecido;</li> <li>6. Concentrados de soro de leite seletivamente desmineralizados.</li> </ol>

Fonte : GOULDING; FOX; O'MAHONY (2020) e SCHUCK *et al.*(2016).

Os produtos derivados das proteínas do leite não passam por um processo de separação entre caseínas e proteínas do soro. Geralmente, são produzidos pela secagem em *spray dryer* do fluído do leite. Além disso, esse líquido pode passar por um tratamento prévio de padronização para atender às demandas específicas do mercado, por exemplo na produção do leite em pó desnatado, o leite passa por um processo prévio de retirada de sua gordura (LAGRANGE; WHITSETT; BURRIS, 2015).

Por outro lado, os produtos derivados das caseínas passam por processos que as separam das proteínas do soro. No início, as técnicas de obtenção de caseínas eram métodos que as desestabilizavam (precipitação ácida, entre outros) para formarem estruturas maiores insolúveis possíveis de serem separadas em peneiras. No entanto, a partir da década de 80, com a evolução de técnicas de separação por membranas, foi possível separar pelo tamanho das estruturas (separação da micela de caseína de tamanho maior (80 a 550 nm) das proteínas do soro (2,5 a 3,7 nm) e outros constituintes do leite de tamanho menor). Com isso, a produção desses ingredientes passou a ser em larga escala (CARR; GOLDING, 2016). Essas técnicas de filtração por membranas são ilustradas na figura 1.

Figura 1- Filtração por membranas dos constituintes do leite.



Fonte: Adaptado de CARTER *et al.* (2021).

A técnica de separação ou concentração de constituintes por membranas é amplamente utilizada na indústria de alimentos. As menores temperaturas empregadas nesses processos de separação por membranas contribuem para diminuição de danos nas estruturas das moléculas e com isso preservam-se as propriedades nutricionais e tecnológicas. É um método utilizado em produtos sensíveis ao calor, enzimas, microrganismos, corantes, entre outros. As principais técnicas que podem ser utilizadas são: microfiltração, a ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa (FELLOWS, 2018). Conforme a imagem 1, a diferença entre elas é o

tamanho dos poros na membrana. A microfiltração pode apresentar membranas com poros variado, em média, de 100 nm a 1000 nm, conseguindo reter as estruturas maiores como as caseínas ou grandes glóbulos de gordura. Já a ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa os poros ficam menores e com isso é possível reter estruturas e moléculas menores (proteínas do soro, lactose, entre outras) que estão presentes no leite (CARTER *et al.*, 2021).

Essas técnicas são utilizadas no desenvolvimento de produtos derivados das proteínas do soro do leite. O soro de leite pode ser obtido por meio de processos de acidificação do leite a pH 4,6, o qual se denomina soro ácido; por meio da ação de enzimas, conhecido como soro doce e também pelo processo de filtração. O soro ácido, doce e o obtido por filtração podem passar por outras etapas de filtração e diafiltração. Essas etapas tornam possível a obtenção de produtos concentrados ou isolados das proteínas do soro do leite. Os concentrados apresentam percentual proteico variando entre 20% a 80%. Já os produtos isolados apresentam percentual proteico acima de 90% (GOULDING; FOX; O'MAHONY, 2020).

Além da utilização de membranas de filtração, existem produtos derivados de proteínas lácteas produzidos a partir de outras metodologias como: caseína coalhada (produzida a partir da precipitação por enzimas), caseinatos (produzida pela precipitação por pH ácido e subsequente solubilização com neutralização por adição de algum mineral como cálcio, potássio e sódio) e caseína ácida (produzida por precipitação em pH 4,6) (CARR; GOLDING, 2016). Essas diversidades de produtos apresentam aspectos tecnológicos e nutricionais diferentes.

#### **4.1.4 Aspectos tecnológicos e nutricionais das proteínas lácteas**

As proteínas lácteas proporcionam diversos benefícios tecnológicos e/ou nutricionais na elaboração de produtos alimentícios. Ingredientes à base de caseína são utilizados com a finalidade de obter uma boa estabilidade física do produto. Como exemplo desses benefícios: melhoria da gelificação, viscosidade, formação de espuma, emulsificação e contribuição com aspectos sensoriais de textura e sabor. A caseína tem boa estabilidade ao calor sendo um ingrediente usado em produtos e processos que passam por altas temperaturas, como alimentos da área de panificação e bebidas quentes, queijos, iogurtes, leites fermentados, sorvetes, carnes processadas, sobremesas geladas, entre outros (CARR; GOLDING, 2016).

As proteínas do soro também apresentam propriedades tecnológicas. Essas se destacam por apresentar boa capacidade de gelificação, solubilidade em ampla faixa de pH, boa capacidade de produzir espuma e contribuir para as características sensoriais de sabor e cor. Esses produtos proteicos oferecem um sabor leve e contribuem no escurecimento promovido pela reação de *Maillard*. Essas proteínas são utilizadas em formulações de bebidas, barras de cereais, iogurte, creme de leite e, principalmente, em fórmulas infantis (CARTER; DRAKE, 2018).

Além dos aspectos tecnológicos, outro fator que contribui para escolha das proteínas lácteas como ingrediente alimentar é sua qualidade nutricional. São fontes de proteínas com aminoácidos essenciais de boa digestibilidade. Além disso, o processo de absorção é diferente quando se compara as caseínas com as proteínas do soro. As caseínas são absorvidas lentamente enquanto proteínas do soro são absorvidas de forma mais rápida (ROY *et al.*, 2020).

Os aminoácidos absorvidos são utilizados como substrato para síntese de proteínas corporais. Essas características qualificam as proteínas do leite como fonte de suplementação em indivíduos que demandam um aumento no consumo de proteínas, como, por exemplo, praticantes de atividades físicas de alto rendimento, bebês com nascimento prematuros e idosos (AMISSAH; BROWN; HARDING, 2020; BONGIOVANNI *et al.*, 2020; ZANINI *et al.*, 2020).

Além disso, as proteínas do leite podem ser fontes de compostos bioativos na alimentação. Esses compostos são representados principalmente por peptídeos que estão inativos dentro da sequência da proteína original, mas são liberados durante a digestão ou fermentação contribuindo na saúde humana. Alguns desses peptídeos quando liberados exercem funções benéficas, como por exemplo: melhoria na mobilidade gastrointestinal, função antibacteriana, atividade antioxidante, modulação imunológica e ação no controle da hipertensão arterial (MOUGHAN, 2020; PUNIA *et al.*, 2020).

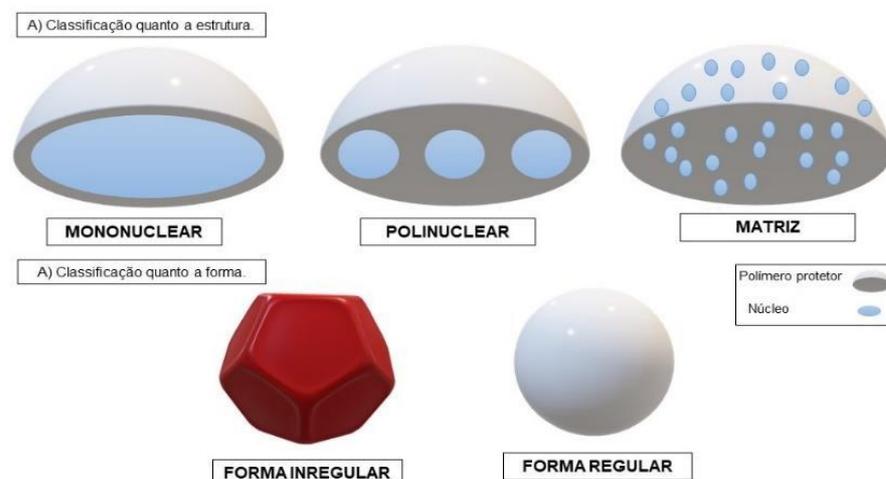
Por fim, as proteínas lácteas também são utilizadas como agentes encapsulamento de diversos compostos bioativos, como por exemplo: compostos do metabolismo secundário extraídos de plantas (flavonoides, heterosídeos, fenólicos), minerais, ácidos graxos essenciais e microrganismos (TAVARES *et al.*, 2014). A indústria de laticínios pode desempenhar papel fundamental no desenvolvimento de novos produtos funcionais atendendo a demanda atual de parte do mercado consumidor (MOUGHAN, 2020).

## 4.2 PROCESSO DE MICROENCAPSULAÇÃO

O processo de microencapsulação tem por definição aprisionar gotículas líquidas, sólidas ou gasosas em uma matriz de encapsulamento, sendo empregado em diversos segmentos industriais, incluindo a área de alimentos. Dentre as vantagens do processo, destacam-se a estabilização de compostos bioativos, redução de reações causadas pela presença de oxigênio, melhoria sensorial com a diminuição de odores e sabores indesejáveis, preservação da composição nutricional e aumento da vida de prateleira do produto. Além disso, é usada para liberação controlada de compostos bioativos durante a etapa digestiva, evitando a degradação dessas substâncias pela variação de pH e pela ação enzimática (ESTEVINHO *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2018).

O agente de proteção forma uma barreira física que protege o núcleo com a substância sensível. A micropartícula pode apresentar mais de uma membrana protetora, o núcleo central pode ser um material cristalino, uma emulsão ou microcápsulas menores. Seu formato e estrutura variam de acordo com o composto bioativo protegido, o agente protetor e a técnica de microencapsulação. Com isso, as partículas apresentam formato esférico ou formato irregular (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007; RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016). Exemplos das estruturas e formas dessas micropartículas estão ilustradas na figura 02.

Figura 2 – Exemplos de estruturas e formas de micropartículas.



Fonte: Adaptado de SAIFULLAH *et al.* (2019).

Quanto à estrutura é possível classificá-las, por exemplo, em micropartículas mononuclear, polinuclear e matriz. Caso sua composição forme uma única camada protetora com um único núcleo, essa será classificada como mononuclear; se apresentar dois ou mais núcleos envoltos por uma camada protetora, será denominada de micropartícula polinuclear; se o composto bioativo for distribuído em toda partícula, a denominação será matriz (SAIFULLAH *et al.*, 2019).

O núcleo protegido pode ser derivado de extratos naturais que apresentem compostos fenólicos, como exemplo: suco de mirtilo, extrato de chá-verde, extrato de café verde, extrato de jabuticaba, entre outros. O agente de encapsulamento e a técnica de microencapsulação fazem variar a eficiência, rendimento, preservação e estabilidade do composto. A mistura de dois agentes como carboidratos e proteínas também são utilizados para aperfeiçoar o processo. São diversas variáveis que devem ser estudadas visando aumentar a eficácia do processo (OZKAN *et al.*, 2019).

Diversos polímeros, naturais ou sintéticos, podem ser utilizados no processo como matriz protetora, como exemplos: gomas, ágar, amidos modificados, lipídios, proteínas do glúten, proteínas do soro, caseína e albumina. A seleção de materiais de parede para microencapsulação envolve às vezes procedimentos de tentativa e erro até encontrar uma combinação eficiente (RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016). Entre várias proteínas utilizadas no processo de microencapsulação, as proteínas do leite apresentam propriedades funcionais e nutricionais que são úteis na formulação de micropartículas ou nanopartículas (ABD EL-SALAM; EL-SHIBINY, 2015).

Essa fonte proteica também pode proteger e transportar compostos bioativos naturais, devido a propriedade de ligar-se a moléculas e íons em diferentes graus de afinidade e especificidade. As caseínas, por exemplo, se ligam e transportam naturalmente o cálcio, mas também se ligam *in vitro* ao cobre, cromo e manganês ajudando no transporte desses íons. As proteínas do soro podem interagir com compostos fenólicos (ABD EL-MAKSOUUD *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2018). No geral, as proteínas do leite interagem com outras moléculas por meio de interações hidrofóbicas, atração de *van der Waals* e ligações de hidrogênio (LIVNEY, 2010). E por isso, apresentam a capacidade de aprisionar compostos por meio de formação de estruturas supramoleculares, emulsões ou hidrogéis (TAVARES *et al.*, 2014).

Diversos métodos de microencapsulação utilizam proteínas lácteas como agente de encapsulamento. Esses métodos são divididos em: métodos físicos

(liofilização e secagem por pulverização); métodos físico-químicos (coacervação, lipossomas e gelificação iônica) e métodos químicos (polimerização interfacial). Devido às suas vantagens, a tecnologia de secagem por atomização é uma das mais utilizadas no processo de microencapsulação, sendo usada diretamente ou em combinação com outros métodos (OZKAN *et al.*, 2019).

#### **4.2.1 Técnica de microencapsulação por *spray drying***

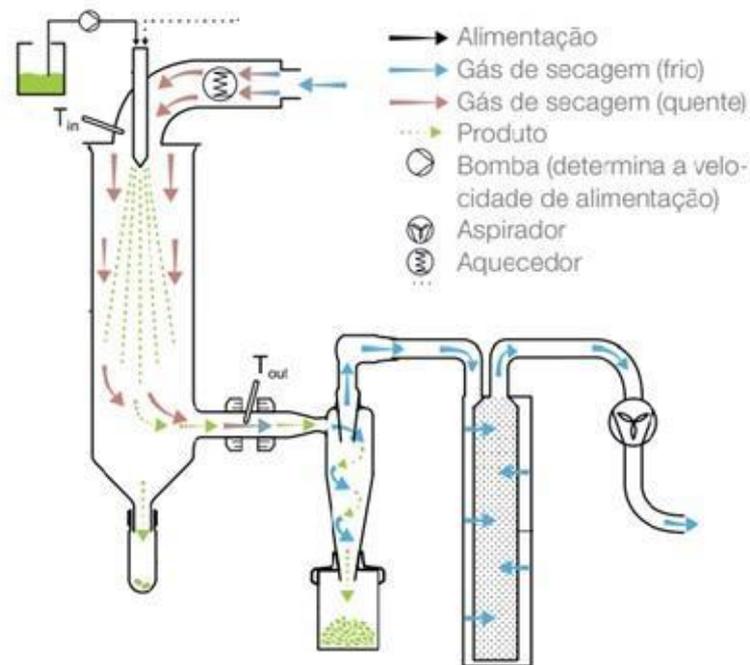
A secagem por pulverização ou *spray drying* é uma operação unitária rápida e contínua. Nessa técnica, uma mistura líquida é bombeada até um atomizador para a formação de pequenas gotículas que entram em contato com ar quente na câmara de secagem. Diversas variáveis devem ser controladas no processo, como exemplo: a temperatura do ar de entrada e saída. Uma temperatura de entrada baixa preserva estruturas sensíveis, mas não retira todo o solvente disponível na amostra. Por outro lado, temperaturas de entradas mais altas podem favorecer o aparecimento de rachaduras nas micropartículas, comprometendo a proteção dos compostos (RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016).

A primeira etapa do processo é a preparação da dispersão ou emulsão que será atomizada no equipamento. É importante avaliar a viscosidade, teor de sólidos e a homogeneidade da solução. Todos esses fatores podem intervir na qualidade do pó no final do processo. Uma mistura com alta viscosidade não pode ser bombeada no sistema, sendo necessária pensar em uma estratégia para diminuir a viscosidade. O líquido com viscosidade adequada e mais concentrado com sólidos demanda do processo um gasto menor de energia, além de formarem micropartículas mais estáveis. A homogeneidade é importante para garantir que todos os constituintes estejam dispersos na solução (GHARSALLAOUI *et al.*, 2007).

A etapa seguinte é a atomização, que tem como finalidade a formação de pequenas gotas e dispersá-las dentro da câmara de secagem. Essa etapa aumenta a área de contato do líquido com o ar quente, favorecendo a remoção da água. Esse contato com ar de baixa umidade relativa e alta temperatura favorece a transferência de calor entre a água das gotículas e o ar de secagem. A característica do produto final depende do processo de atomização. O tipo de atomizador, condições operacionais, conteúdo de sólidos, fluxo da bomba, entre outros aspectos interferem

de forma significativa no produto microencapsulado (O'SULLIVAN *et al.*, 2019). As etapas da secagem por atomização são demonstradas na figura 03.

Figura 3 - Etapas de secagem no mini *spray dryer* B-290.



Fonte: Büchi Labortechnik (2020).

Durante o processo de secagem, a saída rápida da água da gotícula não permite que as moléculas presentes se estabilizem no seu local de origem, ou seja, nenhuma posição exata da molécula pode ser determinada e as moléculas permanecem estáticas nas posições aleatórias com menores graus de liberdade para realizar rotações e vibrações. Esse fenômeno é chamado de estado amorfo ou estado vítreo não cristalino. A manutenção nesse estado em lácteos desidratados pode favorecer a preservação de estruturas como compostos bioativos, micro-organismos, proteínas e gorduras por longos períodos de tempo. No entanto, esse processo é reversível ou transitório, pode ocorrer à transformação do estado amorfo em estado líquido cristalino. Esse fenômeno é denominado de transição vítrea e pode provocar efeitos indesejáveis, como por exemplo: a adesão na câmara de secagem ou o empedramento do produto final. A composição das amostras, as variáveis temperatura e umidade relativa do processo e do armazenamento podem interferir nesse estado amorfo desejável e importante na qualidade e estabilidade do produto (PERRONE *et al.*, 2017).

A secagem por pulverização também é utilizada na indústria alimentícia para garantir estabilidade microbiológica dos produtos, pois apresentam pós com baixos teores de umidade e atividade de água, preservando-os por mais tempo. Desde que solúvel em água, essa técnica pode ser aplicada a vários ingredientes alimentares como: corantes, aromatizantes, minerais, gorduras, óleos, compostos bioativos e microrganismos probióticos (OZKAN *et al.*, 2019). Além disso, apresentam outras vantagens como: a capacidade de produzir pós com tamanhos específicos de micropartículas. É uma operação contínua e rápida, o controle de parâmetros é automatizado, aplicável a materiais sensíveis ao calor e apresenta um custo menor quando comparado a outros métodos como a liofilização (KESHANI *et al.*, 2015).

### 4.3 COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos, carotenoides e peptídeos são estudados na incorporação aos produtos alimentícios. São usados para propiciar algum benefício à saúde ou para substituir produtos sintéticos, sendo uma alternativa como corantes e antioxidantes naturais (FERNANDES; COELHO; SALAS-MELLADO, 2019).

Os compostos fenólicos podem ser definidos como substâncias heterogêneas sintetizadas durante o metabolismo secundário das plantas. Sua estrutura química apresenta um ou mais anéis aromáticos reunidos com hidroxilas. São encontrados em vegetais na forma livre ou em estruturas complexas formadas pela conjugação com outras moléculas (carboidratos, ácidos, entre outros). Sua finalidade para a fisiologia das plantas é a proteção contra o estresse oxidativo e a radiação ultravioleta. Algumas dessas substâncias são responsáveis pela coloração e sabor característicos de produtos de origem vegetal. Os principais compostos utilizados na dieta humana são classificados em ácidos fenólicos, flavonoides e taninos (DE ARAÚJO *et al.*, 2021).

A estrutura do anel aromático dos ácidos fenólicos apresenta um grupo hidroxila substituindo uma molécula de hidrogênio. Eles podem ser derivados do ácido hidroxibenzoico ou do ácido hidroxicinâmico. Os derivados mais comuns do primeiro caso são: ácido salicílico, ácido 4-hidroxibenzoico, ácido protocatecuico, ácido gentísico, ácido vanílico, ácido singárico, ácido gálico, ácido elágico e ácido hexahidroxidifênico. Por outro lado, derivados do hidroxicinâmico encontrados na natureza são o ácido cafeico e o ácido p-cumárico. Essas duas classes de ácidos

fenólicos estão em diversos alimentos, como exemplo: chás, cereais, café, mirtilo, uva, pera, maçã, e frutas cítricas (VUOLO; LIMA; MARÓSTICA JUNIOR, 2019).

Outra classe de fenólicos presentes na natureza são os flavonoides. Essa estrutura de baixo peso molecular pode ter diversas modificações estruturais, isso permite classificá-las em: isoflavonas, neoflavonoides, flavonas, flavonóis ou catequinas, antocianinas e chalconas. Essas estruturas podem oferecer variação de cor entre amarelo a vermelho, sendo responsáveis pela cor em frutas e vegetais. Os flavonoides são encontrados em diversos alimentos como: frutas, vegetais, chá, uva, cacau e vinho (PANCHE; DIWAN; CHANDRA, 2016).

A terceira classe de compostos fenólicos são os taninos, que apresentam em sua estrutura química anéis fenólicos que são capazes de se ligar a uma ampla gama de moléculas. Exercem a função de captar elétrons e prender íons e radicais livres. Em sua estrutura química, os taninos têm em média de 12 a 16 grupos fenólicos, cinco a sete anéis aromáticos e notada abundância de grupos hidroxila. Isso confere aos taninos diversas propriedades físico-químicas. Os principais produtos que são encontrados esses compostos são: café verde e torrado, maçã, banana, cacau, entre outros (FRAGA-CORRAL *et al.*, 2021).

Esses compostos naturais apresentam atividade antioxidante. Alguns têm a capacidade redutora possibilitando a doação de elétrons ou hidrogênio e por isso suas moléculas naturais reagem com radicais livres presentes no organismo interrompendo ações prejudiciais as células. Do mesmo modo, podem ativar enzimas antioxidantes, melhorar o estresse oxidativo e a inflamação. Evidências mostram ação na prevenção de câncer, infecções bacterianas, doenças cardiovasculares, inflamatórias e neurodegenerativas (BHATT; PATEL, 2020; KIOKIAS; PROESTOS; OREOPOULOU, 2020). Trabalhos recentes com compostos fenólicos indicam melhoria de índices de obesidade, ação antiviral, redução de danos intestinais com a melhora da integridade da barreira intestinal, entre outros efeitos (LOAIZA-CANO *et al.*, 2021; RODRÍGUEZ-PÉREZ; SEGURA-CARRETERO; DEL MAR CONTRERAS, 2019; SANDOVAL-RAMÍREZ *et al.*, 2020).

Com base nesses efeitos benéficos, esses compostos, principalmente os fenólicos, podem ser usados na elaboração de embalagens com filmes bioativos, corantes e produtos funcionais. Deste modo, esses compostos são fontes de diversas inovações na indústria alimentícia e farmacêutica (DE ARAÚJO *et al.*, 2021).

No entanto, a etapa digestiva interfere nesses efeitos benéficos, pois alguns compostos, principalmente os hidrofílicos, apresentam baixa estabilidade no trato gastrointestinal. Podem ser degradados bioquimicamente devido às condições adversas ácidas e às ações de enzimas digestivas afetando sua biodisponibilidade (MCCLEMENTS, 2015).

Soma-se a isso, o fato de que durante o armazenamento e processamento, esses compostos com potencial antioxidante, podem sofrer oxidações, são sensíveis ao calor e a luz e possuem outras limitações. O café verde, por exemplo, apresenta sabor desagradável, limitando seus benefícios na aplicação industrial. Sendo assim, o processo de microencapsulação pode ajudar na estabilidade durante etapas do processamento de alimentos e na proteção e liberação direcionada durante a etapa digestiva, aumentando a biodisponibilidade dos compostos bioativos, além da melhoria da aceitabilidade sensorial dos produtos (AGUIAR; ESTEVINHO; SANTOS, 2016).

#### 4.4 USO DE PROTEÍNAS LÁCTEAS NA MICROENCAPSULAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS

Vários tipos de produtos à base de proteínas lácteas são utilizados como agentes protetores de compostos fenólicos. Conforme os artigos analisados nos quadros 03, 04, 05 e 06, os principais produtos utilizados são: proteína do soro isolada, proteína do soro concentrada, leite em pó desnatado, caseína micelar, caseinato de sódio e leite integral. Esses derivados de proteínas lácteas são usados na sua forma isolada ou combinados com outros polímeros. O uso de proteína do soro, tanto na sua forma concentrada como isolada, devido a suas funções tecnológicas, é capaz de formar micropartículas com alto grau de eficiência de encapsulamento e com rendimento de produção satisfatório (ABRAHÃO *et al.*, 2019; MORENO; COCERO; RODRÍGUEZ-ROJO, 2018; NORKAEW *et al.*, 2019).

Além dos aspectos nutricionais e tecnológicos de fabricação, é necessário avaliar como a micropartícula irá liberar o composto ativo protegido durante a sua aplicação. Hoje na literatura existem diversas opções de agentes protetores como carboidratos, celuloses, lipídeos e proteínas. Apesar da goma arábica, quitosana e ciclodextrinas serem as mais empregadas nesse processo, nos últimos anos houve um aumento do uso de outros protetores, como por exemplo, gelatina, amido e proteínas de soja e do leite (GRGIĆ *et al.*, 2020).

Quando se analisa o uso de proteínas lácteas é notória a variedade de opções disponíveis para serem usadas. Existem opções de produtos mais puros de proteínas como o WPI (proteína do soro isolada do inglês *whey protein isolate*) e opções de proteínas com outros constituintes do leite como o SMP (leite em pó desnatado do inglês *skim milk powder*) (ĆUJIĆ-NIKOLIĆ *et al.*, 2019; TATAR TURAN; KAHYAOGU, 2020).

Devido a essa variedade, o fator custo de produção deve ser levando em consideração no momento do planejamento, pois produtos mais puros de proteínas tendem a ser mais caros. Observando esse conjunto de fatores tecnológicos, nutricionais e financeiros é possível combinar as proteínas lácteas com outros polímeros como maltodextrinas, gomas xantanas e entre outros (SARABANDI *et al.*, 2018).

As principais informações no desenvolvimento de ingredientes a base de proteínas lácteas são apresentadas nos quadros 03, 04, 05 e 06. Com base nesses estudos, observa-se que a composição do polímero protetor, a fonte do composto bioativo, as formulações da solução e condições do equipamento são as principais variáveis estudadas para desenvolver um novo produto para o mercado.

Quadro 3 – Utilização de produtos com isolados de proteínas do soro do leite no processo de microencapsulação de compostos fenólicos por *spray drying*.

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
1	CM e WPI	Mirtilo	15 g de WPI ou CM foram dissolvidos em 100 ml de água. 0,3 g do extrato de mirtilo foram dissolvidos em 5 ml de água. As duas soluções foram misturadas e homogeneizadas a 60 Mpa.	TE = 150°C; TS = 70-80°C; VB = 9 ml / min;	A CM e a WPI diminuem a liberação e a degradação do composto bioativo protegido durante a etapa digestiva. Micropartículas de CM dissolveram-se lentamente devido a formação de coalhos superdimensionados durante a digestão. As micropartículas com WPI se dissolveram rapidamente, mas as micropartículas líquidas que se formaram impediram a liberação e a degradação dos compostos bioativos.	(LIAO <i>et al.</i> , 2021)
2	WPI	Mirtilo	Extrato e agente protetor na proporção: 1:2 (m/m). Extrato foi concentrado a 16° Brix e foi utilizada três soluções de revestimento (10%, 20% e 30% WPI ou inulina)	TE = 125 °C; VB = 3 ml / min; T do bico ultrassônico = 45 a 60 ° C	O poder ultrassônico e as concentrações do revestimento afetaram a viscosidade, tamanho médio de partícula e a temperatura de transição vítrea. Os resultados indicaram que um bico ultrassônico pode ser usado com sucesso para preparar a microcápsula de mirtilo.	(TATAR TURAN; KAHYAOGU, 2020)
3	WPI	Casca da batata doce	7 g de WPI foram dissolvidos em 40 ml de água a 60 °C. Essa solução foi misturada com extrato da casca da batata doce.	TE = 130 °C; TS = 65 ± 2 ° C; VB = 8 ml/ min;	Os parâmetros cinéticos de degradação mostraram uma vida útil mais longa no produto microencapsulado pela técnica de <i>spray drying</i> .	(ŠEREGELJ <i>et al.</i> , 2020)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
4	WPI e WPI + polímeros.	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	Dispersões contendo 10% de povidona (m/m), 10% de WPI (m/m) e uma mistura contendo 10% de povidona com WPI (1: 1; m/m).	TE = 160 °C; TS = 80 °C.	O produto contendo apenas a povidona utilizando a técnica de liofilização apresentou melhores resultados na retenção de fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante.	(CASSOL; NOREÑA, 2020)
5	WPI	Tomilho, sálvia, alecrim e orégano.	Soluções de WPI e isolado de proteína de soja (10% m / m).	TE= 140 °C; TS= 68 ± 2 °C; VB=8 ml/min <sup>-1</sup> ;	A WPI é útil para a estabilidade dos flavonoides em todas as ervas estudadas antes e depois da fase digestiva duodenal.	(BILUŠIĆ <i>et al.</i> , 2020)
6	WPI + polímeros	Alho	Coacervação complexa ideal ocorreu em uma massa de quitosana / WPI na proporção de 0,2: 1 (m / m).	TE = 160 ° C; VB = 0,60 L / h <sup>-1</sup> ;	Os complexos com WPI revelaram-se boas alternativas para uso em sistemas de parede para proteger os compostos bioativos.	(TAVARES; ZAPATA NOREÑA, 2019)
7	WPI	Pimenta vermelha	7g de WPI foram dissolvidos em 40 ml de água; o extrato foi misturado com essa solução.	TE = 130 ° C; TS = 65 ± 2 ° C; VB = 8 ml / min	A fortificação de iogurtes teve influência positiva na manutenção do número inicial de bactérias ácidas durante o armazenamento. O encapsulamento demonstrou uma proteção contra mudanças de pH e atividades enzimáticas ao longo da digestão.	(ŠEREGELJ <i>et al.</i> , 2019; VULIĆ <i>et al.</i> , 2019)
8	WPI e WPI + polímeros.	Arroz preto tailandês	9 combinações com diferentes concentrações de material de parede e composto bioativo	TE = 180 °C; TS =: 70 a 80 °C; VB = 6 ml/min;	As micropartículas com MD apresentaram a maior retenção de antocianina. As com WPI exibiram o maior conteúdo fenólico, atividade antioxidante e um aumento da atividade antioxidante durante a digestão <i>in vitro</i> .	(NORKAEW <i>et al.</i> , 2019)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
9	WPI + polímeros	Cidra	5 combinações com diferentes agentes encapsulantes. Essas formulações foram misturadas com o extrato de cidra (10 g / 100 ml).	TE= 185 ± 2 °C; TS= 80 ± 2 °C VB = 17 a 21 ml / min;	A formulação com goma arábica, MD e amido modificado apresentou melhor resultado no processo de microencapsulação. Essa combinação demonstrou a maior estabilidade durante o armazenamento.	(MAHDI <i>et al.</i> , 2020)
10	WPI e WPI + polímeros.	Folha de <i>Phyllanthus niruri</i>	Três formulações com: MD, WPI e suas combinações (WPI: MD = 1:9). A mistura dos polímeros com composto ativo apresentou o teor de sólidos em 10%.	TE = 180 ± 1 °C; atomizador de fluido duplo a uma velocidade de ar constante de 4,1 m / s.	O método de microencapsulação composto por WPI e MD aumentou a retenção de polifenóis após secagem. Independente do agente encapsulante utilizado, a quercetina é mais suscetível à degradação térmica do que a filantina e o ácido gálico durante o processo de secagem.	(GIMBUN <i>et al.</i> , 2019)
11	WPI e WPI + polímeros.	Café expresso após o uso	WPI e sua combinação com MD, goma arábica e inulina (proporção 1: 1). A concentração de material de parede: 20 g / 100 ml de extrato.	TE = 160 ± 1 °C; TS= 90 ± 6 °C; VB = 0,7 L h <sup>-1</sup> .	A matriz protetora proporcionou produtos com concentrações significativas de compostos antioxidantes. O uso de WPI foi considerado um agente protetor eficiente na manutenção da atividade antioxidante dos compostos do café.	(ABRAHÃO <i>et al.</i> , 2019)
12	Mistura de SMP e WPI + polímeros	Bagaço de uva	16 combinações com variações da composição dos agentes encapsulantes	Combinações de temperaturas diferentes (Variando entre 152 °C e 189 °C).	A degradação de polifenóis em extrato bruto foi mais rápida quando comparada com produto encapsulado, mostrou a importância do encapsulamento.	(TSALI; GOULA, 2018)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
13	WPI	Bagaço de uva	As proporções dos três transportadores estudados (MD, WPI e proteína de ervilha) variaram entre 0,3: 1 e 2: 1. Os sólidos solúveis totais da mistura de extrato mais agente encapsulante variaram entre 4,6 e 10,6%	TE = 140 °C; TS = 81 °C. VB = 21,5 g / min	As proteínas são alternativas eficientes quando comparados a MD. A WPI é um auxiliar de secagem muito eficaz em termos de rendimento de secagem, pois a quantidade necessária para obter uma secagem eficiente é muito menor do que para a proteína de ervilha ou MD.	(MORENO; COCERO; RODRÍGUEZ-ROJO, 2018)
14	WPI e WPI + polímeros.	Amoras pretas	Mistura de goma arábica e MD (50:50); proteína de soro isolada e agave frutanos na concentração de 0,5% (p / v)	TE = 180 °C; TS = 80 °C; Taxa de alimentação: 13%.	As amostras demonstraram possuir boa capacidade antioxidante. Os produtos inibiram <i>E. coli</i> e <i>S. thyphy</i> . Em geral, WPI como agente carreador apresentou os melhores valores de proteção de antocianinas e compostos fenólicos.	(FARIAS-CERVANTES <i>et al.</i> , 2018)
15	WPI + polímeros	Folhas de alecrim	Adição de WPI (2% e 4%) em emulsões contendo óleo de girassol e MD.	TE = 175 ± 2 °C; TS = 90 °C; Taxa de fluxo de alimentação: 18%.	As microcápsulas secas por pulverização obtidas contendo polifenóis de alecrim podem ser facilmente entregues a várias misturas secas e, portanto, servem na concepção de novos produtos farmacêuticos e produtos alimentícios.	(BUŠIĆ <i>et al.</i> , 2018)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Siglas: CM - Caseína Micelar, WPI - Proteína do soro isolada do inglês *Whey protein isolate*, MD – Maltodextrina, TE – temperatura de entrada, TS – Temperatura de saída, VB – Velocidade da bomba, T – Temperatura.

Quadro 4 - Utilização de produtos com concentrados de proteínas do soro do leite no processo de microencapsulação de compostos fenólicos por *spray drying*.

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
1	WPC	Cascas de grãos de cacau	As soluções a 50% (m/v) de WPC e MD foram homogeneizadas com o extrato.	TE = 120 ° C; TS = 75 a 80 ° C.	A proteína do soro apresentou vantagem no encapsulamento de fenólicos em termos de reidratação, índice de solubilidade em água e índice de absorção de água. Verificou que a solução usando 50% proteínas do soro proporcionou uma melhor preservação de compostos fenólicos.	(JOKIĆ <i>et al.</i> , 2020)
2	WPC + polímeros	Mirtilo	Solução de $\beta$ -ciclodextrina-proteína de soro de leite-goma arábica na proporção 16: 8: 1.	TE = 160 ° C; TS = 80 ° C.; VB =350 ml/h;	As microcápsulas de antocianinas apresentaram cor vermelha escura com forma esférica lisa e eram mais estáveis do que as antocianinas nativas. Apresentaram alta estabilidade no armazenamento de antocianinas.	(XU <i>et al.</i> , 2019)
3	WPC e WPC + polímeros	Águas residuais de moinho de azeite	17 combinações variando a temperatura de entrada e agentes encapsulantes	A faixa de TE testada foi de 100 a 220 ° C.	Os resultados mostraram que tanto a MD quanto o WPC foram eficazes na produção de pó antioxidante, embora em condições de encapsulamento ligeiramente diferentes. As amostras com WPC mostraram melhor atividade antioxidante em menores temperaturas.	(KREATSOULI <i>et al.</i> , 2019)
4	WPC e WPC + polímeros	Amora-preta.	Goma arábica, MD e WPC bem como a mistura 50:50 desses materiais.	TE = 130 C $\pm$ 5 °C; TS = 60 $\pm$ 5 ° C ; Capacidade da bomba: 15% .	O tipo de material de encapsulamento tem um forte efeito na estabilidade e eficiência encapsulamento. WPC ofereceu as melhores condições de proteção para bactérias probióticas em conjunto com suco de amora-preta.	(COLÍN-CRUZ <i>et al.</i> , 2019)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
5	WPC e WPC + polímeros	Ácido Gálico	4 combinações de emulsões variando a composição de agentes encapsulantes.	TE = $140 \pm 5$ °C; TS = $85 \pm 5$ °C; VB = 1,0 mL / min.	Os resultados mostraram que as microcápsulas revestidas com WPC e polissacarídeo péctico extraído de <i>Ulmus davidiana</i> tiveram maior eficiência do que microcápsulas revestidas apenas com WPC. O perfil de liberação em condições gastrointestinais mostrou que as microcápsulas revestidas com WPC e polissacarídeos liberaram menos quantidades de ácido gálico quando comparadas com as microcápsulas revestidas com WPC.	(CHOI; CHANG, 2018)
6	WPC + polímeros	Suco de maça	Combinações variando a composição dos agentes encapsulantes. Teor de sólidos da solução de alimentação foi fixado em 30%.	TE = 160 °C; VB= 15 ml / min.	O tipo e a concentração do agente encapsulante são importantes no custo de produção e nas propriedades físico-químicas e funcionais dos produtos. Contudo, cada um dos polímeros tem vantagens e desvantagens. As desvantagens podem ser minimizadas pela aplicação de uma combinação de dois ou mais transportadores.	(SARABANDI <i>et al.</i> , 2018)
7	WPC e WPC + polímeros	Jabuticaba, Jussara e Mirtilo.	Foram misturados os extratos na seguinte proporção de 0,2167: 0,5667: 0,2167 (v / v / v) (jabuticaba: Jussara: mirtilo). Esse mix foi adicionado às soluções com agentes encapsulantes (MD, goma arábica e WPC) a 10% (p / v).	TE = $180 \pm 5$ °C; TS= $78,5 \pm 3,5$	As micropartículas com materiais de parede individuais de MD, WPC e goma arábica, respectivamente, forneceram os maiores eficiência de encapsulação de antocianinas. As misturas contendo WPC exibiram a menor solubilidade. Todos os materiais de parede influenciaram a cor final das microcápsulas.	(ROCHA <i>et al.</i> , 2019)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
8	WPC	Suco de uva vermelha.	Várias concentrações de WPC foram testadas	Várias temperaturas foram testadas	Os valores mais altos de retenção de antocianina foram obtidos com a maior temperatura do ar de entrada (190 °C) e a maior concentração de proteína de soro de leite (15% (p / p)). O WPC como agente transportador, resultou em um pó com um alto nível de retenção de antocianinas e de boa qualidade, apresentando uma aplicação potencial em produtos alimentícios.	(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2018)
9	WPC + polímeros	Casca de maçã.	Formulações com diferentes agentes encapsulantes. Sendo a formulação de MD: WPC na proporção de 8:2. Esta mistura foi exposta a dois métodos homogeneizações.	TE = 150 °C; TS = 50 °C.	O extrato encapsulado por liofilização e homogeneizado por ultrassom era mais estável no iogurte suplementado em comparação com extrato não encapsulado.	(EL-MESSERY <i>et al.</i> , 2019)
10	WPC + polímeros	Suco de cereja concentrado	Mistura de MD e goma arábica (nas proporções 4: 1, 1: 1 e 1: 4) e essa solução foi suplementada com WPC em diversas proporções (5, 10, 15 e 20%.)	TE = 170 °C; TS = 81,3 a 84,7 °C; VB = 12 ml / min;	O rendimento da produção de pós aumentou usando uma combinação de MD e GA. O uso WPC em combinação com esses polímeros pode melhorar índices de rendimento da produção. Sendo assim, a aplicação de baixas concentrações de WPC em combinação com o MD ou GA pode aumentar o rendimento de produção.	(SARABANDI <i>et al.</i> , 2017)
11	WPC + polímeros	Cascas de frutas cítricas.	Adição de WPC em emulsões contendo óleo de soja, goma arábica.	TE = 180 ± 5 °C; TS = 80 ± 5 °C;	As microcápsulas (WPC e goma arábica) manifestaram maior capacidade de proteger os flavonoides da degradação e apresentaram maior atividade antioxidante.	(HU <i>et al.</i> , 2018)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
12	WPC	Baunilha	Mistura do extrato com WPC na proporção de 1: 3 (m / m). A solução final apresentava 30% de sólidos totais.	VB = 5,0 ml/min <sup>1</sup> ;  TE = 150 ± 2 °C; TS = 90 ± 5 ° C; Taxa de alimentação = 6%;	Produção de microcápsulas com excelentes rendimentos de compostos fenólicos como a vanilina, bem como a proteção do antioxidante do extrato inicial.	(CALVA-ESTRADA <i>et al.</i> , 2018)
13	WPC e WPC + polímeros	Polpa de Jussara	Diferentes concentrações de soluções de agentes encapsulantes foram misturadas em soluções contendo o extrato de Jussara (polpa e matrizes encapsulantes na proporção de 1: 1, p / p),	TE = 150 °C; TS = 90-98 °C; VB = 5 ml / min.	Os resultados mostram uma boa qualidade dos pós com alto teor de antocianina. As micropartículas com polpa de Jussara mostraram uma morfologia esférica de vários tamanhos, sem rachaduras ou fissuras aparentes.	(SANTANA <i>et al.</i> , 2016)
14	WPC + polímeros	Suco de uva	Diversas formulações variando a concentração de WPC com outros polímeros.	TE = 140 °C; VB = 2 ml / min;	A formulação usando WPC com MD resultou em rendimentos mais elevados e maior retenção de antocianina totais. Aumentado a concentração de carreadores melhora a qualidade das propriedades físico-químicas dos pós.	(MOSER <i>et al.</i> , 2017; MOSER; SOUZA; NICOLETTI TELIS, 2017)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
15	WPC	Suco de yacon	As proporções de MD e WPC eram 60:40, 70:30 e 80:20 (m/m).	TE = $100 \pm 2^\circ\text{C}$ ; TS = $40 \pm 3^\circ\text{C}$ ; VB = $10 \text{ ml min}^{-1}$ .	A melhor formulação foi observada na proporção MD: WPC 80:20. As técnicas de análise térmica foram ferramentas importantes para escolha da melhor concentração de agente de encapsulamento (whey e MD).	(BISINELLA <i>et al.</i> , 2016)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Siglas: WPC – Proteína do soro concentrada do inglês *whey protein concentrate*, TE – temperatura de entrada, TS – Temperatura de saída, VB – Velocidade da bomba, T. – Temperatura.

Quadro 5 – Utilização de produtos com derivados de caseína no processo de microencapsulação de compostos fenólicos por *spray drying*.

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
1	NaCAS	Concentrado de groselha preta	O concentrado foi adicionado na solução de NaCAS (5 g / 100 g) gota a gota até o valor do pH da solução ficar estável em $6,0 \pm 0,1$	TE = $120 \pm 5^\circ\text{C}$ ; TS = $60 \pm 5^\circ\text{C}$ .	Produziu um ingrediente rico em proteínas e com compostos fenólicos capaz de reduzir a resposta glicêmica e capaz de aumentar o conteúdo de proteína e fenólicos em alimentos.	(WU <i>et al.</i> , 2021)
2	CM e WPI	Mirtilo		Ver tabela de WPI no ITEM 01		(LIAO <i>et al.</i> , 2021)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
3	NaCAS e NaCAS polímeros +	Chá preto após o uso	3 g dos materiais de revestimento (100% pectina; 100% NaCAS e 50% NaCAS + 50% pectina) foram dissolvidos em 100 ml de água destilada a 90 ° C. Depois, o extrato foi adicionado gota a gota às soluções.	TE = 140 °C; TS = 85 ° C ± 3 ° C; VB = 5 ml / min.	A mistura dos dois materiais de parede produziu um pó amorfo com a maior retenção de compostos fenólicos no armazenamento a 45 ° C por 40 dias. As microcápsulas preparadas com caseinato de sódio eram menores com menor diâmetro médio e maior estabilidade térmica.	(RAJAPAKSHA; SHIMIZU, 2020)
4	CM reticuladas por transglutaminase	Casca da jabuticaba	Os extratos fenólicos da casca de jabuticaba (em pH 7,0 e pH 2,0) e CM reticulados (em pH 7,0 e pH 2,0) foram misturados em função de seu peso molecular na seguinte proporção: 170,12 g / mol para polifenóis e 23 000 g / mol para caseínas.	TE = 190 ± 2 ° C; TS = 81 ± 3.4 ° C; VB = 1,0 ± 0,1 L / h.	Observou que a adição de compostos fenólicos não alterou de forma significativa a atividade de água ou a morfologia dos produtos. Houve uma degradação dos compostos fenólicos adicionados nas caseínas micelar reticuladas durante a secagem, essa redução aconteceu independentemente do pH das soluções.	(NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2020)
5	NaCAS, SMP e NaCAS, SMP + polímeros.	Erva <i>Elsholtzia ciliata</i>	20 combinações com diferentes concentrações de material de parede e composto bioativo.	TE = 160 °C; TS = 80 a 90 °C; VB: 30 ml / min.;	O uso de MD como principal material encapsulante, em suplementação com NaCAS, SMP e beta-ciclodextrina aumentou a eficiência, solubilidade e molhabilidade em comparação com a utilização de apenas um polímero.	(PUDZIUVELYTE <i>et al.</i> , 2019)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
6	NaCAS polímeros +	Resveratrol	Emulsão feita com conjugados de Maillard (composta por NaCAS, MD, glicose em pó), óleo de palma e resveratrol na concentração total de sólidos de 30,0 g / 100 g.	TE= 180 °C; TS= 93,3 ± 3,8 °C; VB = 0,6 L/h <sup>-1</sup> .	O tempo de aquecimento que o conjugado de <i>Maillard</i> foi submetido teve influência pronunciada sobre o perfil de liberação do resveratrol em condições simuladas gastrointestinais.	(CONSOLI <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Siglas: NaCAS – Caseinato de sódio, SMP - leite em pó desnatado inglês *skim milk powder*, CM - Caseína Micelar, WPI - Proteína do soro isolada do inglês *whey protein isolate*, MD – Maltodextrina, TE – temperatura de entrada, TS – Temperatura de saída, VB – Velocidade da bomba, T – Temperatura.

Quadro 6 - Utilização de outros produtos à base de proteínas lácteas no processo de microencapsulação de compostos fenólicos por *spray drying*.

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
1	Leite integral + polímeros	Soja	O extrato de isoflavonas foi adicionado lentamente à suspensão de goma arábica. 200 ml de leite integral foram adicionados à suspensão. Solução com 10% (p / v) de MD (DE 18) foi adicionada à suspensão como	TE = 175 °C; TS = 80-85 °C; VB = 20 ml / min.	O melhor resultado da estabilidade da isoflavonas foi com 10% de MD e 6% de goma de arábica e 200 ml de leite integral como material de parede. Essa formulação pode aumentar a estabilidade da isoflavonas para aplicação em sistemas alimentares.	(RAHMAN MAZUMDER; RANGANATHAN, 2020)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
2	SMP	Arônia ( <i>Aronia melanocarpa</i> )	material de revestimento adicional  Cada encapsulante foi individualmente dissolvido no extrato para obter soluções contendo 20% (p / v).	TE = 130 ± 3 °C; TS = 56 ± 2 °C; VB = 8 mL / min.	A estabilidade dos polifenóis de Arônia pode ser melhorado usando a técnica de <i>spray drying</i> . A MD apresentou melhores propriedades do que leite desnatado.	(ĆUJIĆ-NIKOLIĆ <i>et al.</i> , 2019)
3	NaCAS, SMP e NaCAS, SMP + polímeros.	Erva <i>Elsholtzia ciliata</i> .		Ver tabela de caseínas item 5		(PUDZIUVELYTE <i>et al.</i> , 2019)
4	SMP e SMP + polímeros.	Café verde	Mistura do extrato de café verde (100 kg/m <sup>3</sup> ) com diferentes agentes encapsulantes na concentração de 100 kg/m <sup>3</sup> .	TE = 120 °C; TS= 67 °C;	Os produtos microencapsulados forneceram melhor proteção durante digestão simulada quando comparadas com o extrato não encapsulado.	(DESAI <i>et al.</i> , 2019)
5	SMP e WPI + polímeros	Bagaço de uva		Ver tabela de WPI item 12		(TSALI; GOULA, 2018)

	Polímero protetor	Fonte dos compostos do núcleo	Formulação	Algumas variáveis operacionais.	Principais resultados	Autores
6	SMP	Uva vermelha	Soluções de MD (10 g / 100 g), goma arábica (5g / 100g) e leite em pó desnatado (10 g / 100 g) foram dissolvidos em extrato de casca de uva.	TE = 140 °C TS = 65 ± 2 °C; VB= 8 ml / min;	O emprego de SMP como transportador para bioativos da uva proporciona alto rendimento, valor nutricional, fluidez e dissolução do produto.	(KALUŠEVIĆ <i>et al.</i> , 2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Siglas: NaCAS – Caseinato de sódio, SMP - leite em pó desnatado inglês *skim milk powder*, CM - Caseína Micelar, WPI - Proteína do soro isolada do inglês *Whey protein isolate*, MD – Maltodextrina, TE – temperatura de entrada, TS – Temperatura de saída, VB – Velocidade da bomba, T – Temperatura.

#### 4.4.1 Formulação da solução com o agente de encapsulamento

Os compostos fenólicos são extraídos de folhas, raízes, rizomas ou resíduos após o processamento. Essas substâncias fenólicas apresentam propriedades funcionais importantes tanto para indústria alimentícia como para a farmacêutica, contudo não existe um procedimento padrão para a sua extração. A escolha do método de extração apropriado é um fator crítico que evita perdas importantes nesse processo. O desenvolvimento de produtos de valor agregado com esses compostos requer um planejamento de extração que seja eficiente e econômico. Os principais métodos utilizados hoje no processo de extração são: extração por solvente convencional, extração assistida por micro-ondas, extração assistida por ultrassom, extração por enzima, extração líquida pressurizada, extração de água supercrítica, extração com dióxido de carbono, entre outros métodos (KUMAR *et al.*, 2021).

Da mesma forma, outras variáveis como pH, temperatura e concentração de solvente/soluto podem aperfeiçoar essa etapa. Por isso, é necessário entender as características dos compostos a serem extraídos. Por exemplo, é possível aperfeiçoar o processo de extração de fenólicos do chá preto antes do processo de microencapsulação desses compostos com proteínas lácteas. A temperatura de extração de 180°C e a concentração de etanol em 71% proporciona maiores quantidades de fenólicos totais e maiores valores na análise da atividade antioxidante quando comparados com outras metodologias de extração (RAJAPAKSHA; SHIMIZU, 2020).

Além do processo de extração, é possível utilizar o composto fenólico já extraído e purificado disponível no mercado. Nesse caso, o fator financeiro deve ser levado em consideração, pois produtos purificados tendem a ter um custo de produção mais elevado. Por exemplo, é possível encapsular o composto resveratrol com a pureza de 98% com produtos à base de proteínas lácteas (CONSOLI *et al.* 2019). Outro exemplo é o ácido gálico que pode ser microencapsulado por *spray drying* utilizado formulações com WPC (CHOI; CHANG, 2018).

A próxima etapa no processo de microencapsulação é a dissolução, emulsificação ou dispersão dos compostos fenólicos (extrato ou purificado) na solução contendo o agente protetor (PIÑÓN-BALDERRAMA *et al.*, 2020). As proteínas lácteas são provenientes do processo de separação de outros constituintes do leite (por exemplo, produto concentrado após processo de filtração por membranas) ou são

produtos desidratados obtidos após o processo de separação por membranas e secagem por *spray dryer*.

Uma forma possível de fazer micropartículas é adicionando o extrato vegetal ao concentrado líquido das proteínas do soro logo após o processo de filtração por membranas. Com isso, é possível obter um produto sem alteração morfológica das proteínas do soro do leite (GOMES *et al.* 2020). Por outro lado, a grande maioria das pesquisas de microencapsulação com compostos fenólicos utilizam as proteínas lácteas em pó que são reidratadas em água ou no próprio extrato antes do processo de secagem (LIAO *et al.*, 2021; ŠEREGELJ *et al.*, 2020; TATAR TURAN; KAHYAOGU, 2020; WU *et al.*, 2021).

É relevante relatar, também, a aplicação de alguma técnica com a finalidade de alterar as estruturas das proteínas lácteas antes ou após a mistura dessas com os compostos fenólicos. Essa etapa pode ter como objetivo aperfeiçoar o processo de fabricação de micropartículas, como também adequar o perfil de liberação de acordo com objetivos a serem alcançados com esse produto. É possível, por exemplo, aumentar a estabilidade da caseínas durante o microencapsulação de extrato fenólico de jaboticabas por *spray dryer* utilizando o processo de reticulação com a enzima transglutaminase antes da secagem (NOGUEIRA *et al.*, 2020).

Além disso, a ligação de proteínas e carboidratos pode melhorar as propriedades de emulsificação, solubilidade e estabilidade térmica do produto através da aplicação da reação de *Maillard* em emulsões contendo caseinato de sódio como fonte proteica antes do processo de secagem em *spray drying* (CONSOLI *et al.* 2019). Outro exemplo, é a gelificação na formulação, essa técnica pode interferir no perfil de liberação do composto ativo protegido (TAN; ZHONG; LANGRISH, 2020). Esses trabalhos demonstram que variação de pH, temperatura, aplicação de enzimas ou outro tratamento antes do processo de encapsulamento em *spray dryer* podem favorecer as características desejáveis do produto.

Da mesma forma, a proporção na concentração do agente de encapsulamento e do composto protegido pode interferir na tecnologia de fabricação de micropartículas. A concentração de sólidos pode ser usada visando diminuir o gasto energético do processo e alcançar o estado vítreo desejado do produto. Como exemplo, durante a produção de lácteos desidratados o líquido é concentrado utilizado um evaporador a vácuo (SCHUCK *et al.*, 2015). Além disso, a viscosidade sofre variações advindas do teor total de sólidos e das características específicas do

material encapsulante. Cita-se a maior capacidade de absorção de água da caseína em comparação com as proteínas do soro (FOX *et al.*, 2015).

Nos quadros 03, 04, 05 e 06 é possível observar diversas formulações usando proteínas lácteas como carreadores de compostos fenólicos. Norkaew *et al.* (2019) avaliaram doze formulações de material de parede usando três polímeros diferentes (maltodextrina, goma arábica e WPI) em variadas concentrações para encapsular antocianinas do arroz preto tailandês, descobriu que a maltodextrina em combinação com WPI como agente de encapsulamento tem capacidade de reter mais antocianinas em comparação com outros compostos. Nesse trabalho foi possível observar que micropartículas com WPI apresentavam maiores teores de fenólicos totais e uma maior atividade antioxidante em comparação com outras preparações. Esse estudo é um dos exemplos que mudanças na composição dos agentes protetores implicam em diferentes resultados no processo de elaboração da micropartícula.

#### **4.4.2 Variáveis operacionais do *spray dryer***

Além do aumento da viscosidade com a concentração nos teores de sólidos, as temperaturas (entrada e saída) e a velocidade de sucção do produto pela bomba do equipamento são variáveis operacionais críticas no processo de secagem por *spray drying* (REZVANKHAH; EMAM-DJOMEH; ASKARI, 2020).

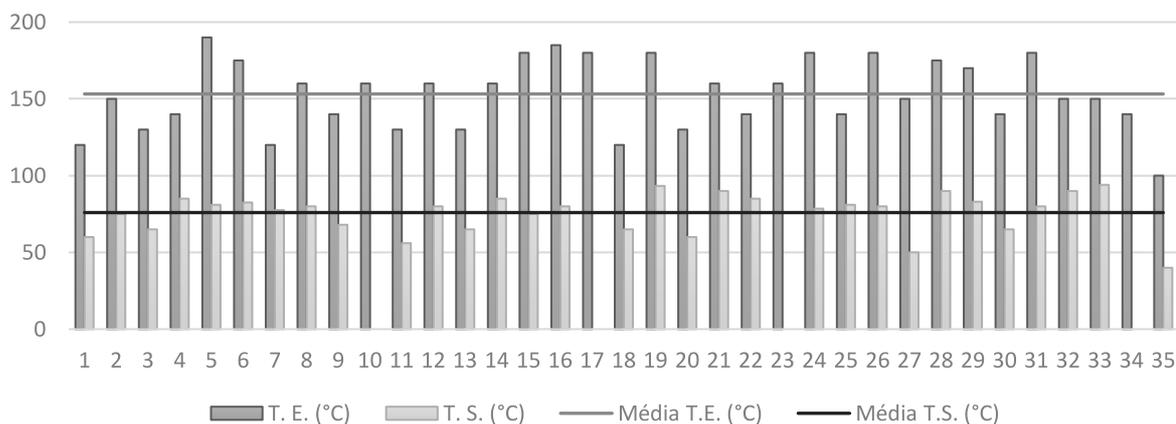
O ar quente entra no sistema com uma temperatura alta, ocorre a troca energética entre o ar e a gotícula, com isso essa temperatura cai na saída da câmara de secagem. Essa última temperatura de saída sofre interferência da quantidade de gotas que caem na câmara de secagem e de seu teor de sólidos. Com isso é observável que o ar entra quente e seco e sai frio e úmido. Além disso, quanto maior temperatura de entrada, possivelmente, maior será a saída de água da partícula na câmara de secagem e menor será a umidade do produto final (PIÑÓN-BALDERRAMA *et al.*, 2020).

No entanto, é preciso ter cautela nessas temperaturas, pois se muito altas, principalmente a temperatura de saída, poderão degradar compostos bioativos e atingir a temperatura de transição vítrea, causando perdas nutricionais e fenômenos indesejáveis ao processo. Cita-se como exemplos desse fato no setor de lácteos a adesão de produto na câmara de secagem e baixa solubilidade do produto devido ao

empedramento do produto na etapa de estocagem pós-secagem (PERRONE *et al.*, 2017).

O gráfico 1 ilustra a temperatura média usada em 36 trabalhos que foram selecionados para demonstrar que temperaturas de entrada e saída são altamente variáveis. É necessário verificar as características específicas de cada substância envolvida no processo para encontrar a melhor estratégia a ser utilizada na definição de formulações e configurações a serem programadas no equipamento. A temperatura de entrada média fica abaixo de 160 °C e que temperatura de saída média abaixo de 80 °C.

Gráfico 1 – Temperaturas médias de entrada e saída utilizadas em trabalhos científicos.

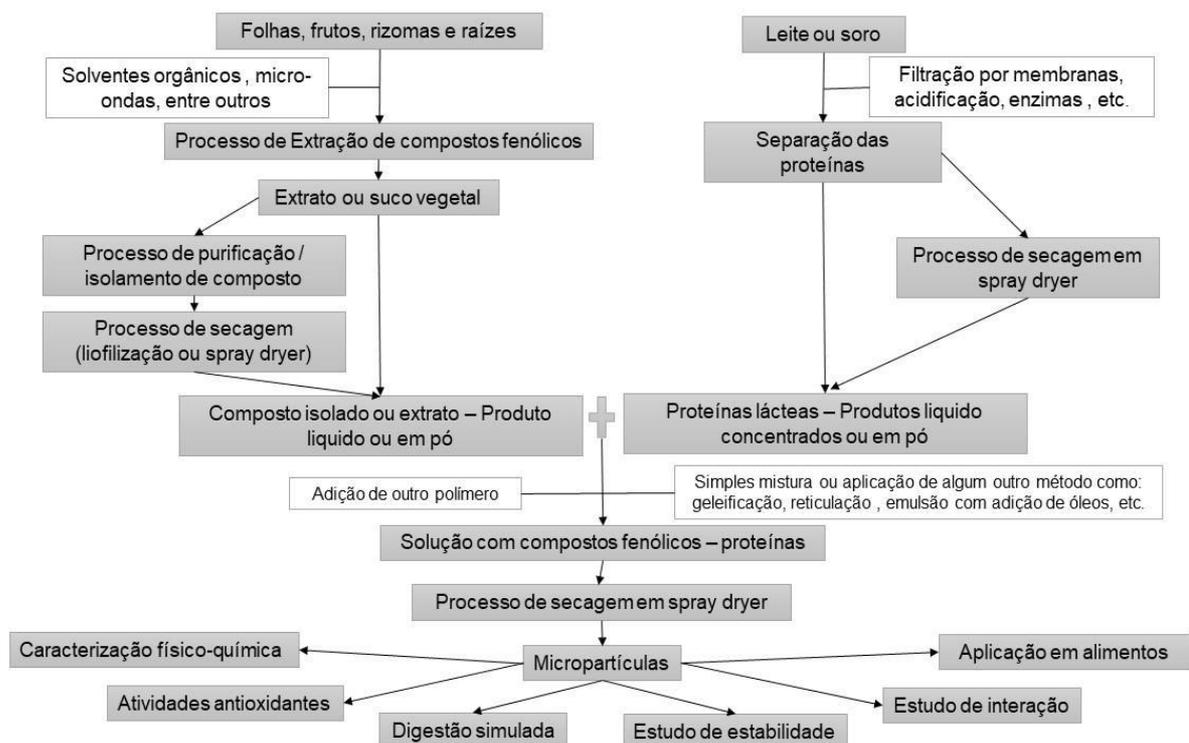


Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Fonte dos dados: 1 (WU *et al.*, 2021); 2 (LIAO *et al.*, 2021); 3 (ŠEREGELJ *et al.*, 2020); 4 (RAJAPAKSHA; SHIMIZU, 2020); 5 (NOGUEIRA *et al.*, 2020); 6 (RAHMAN MAZUMDER; RANGANATHAN, 2020); 7 (JOKIĆ *et al.*, 2020); 8 (CASSOL; NOREÑA, 2020); 9 (BILUŠIĆ *et al.*, 2020); 10 (TAVARES; ZAPATA NOREÑA, 2019); 11 (ĆUJIĆ-NIKOLIĆ *et al.*, 2019); 12 (XU *et al.*, 2019); 13 (ŠEREGELJ *et al.*, 2019; VULIĆ *et al.*, 2019); 14 (PUDZIUVELYTE *et al.*, 2019); 15 (NORKAEW *et al.*, 2019); 16 (MAHDI *et al.*, 2020); 17 (GIMBUN *et al.*, 2019); 18 (DESAI *et al.*, 2019); 19 (CONSOLI *et al.*, 2019); 20 (COLÍN-CRUZ *et al.*, 2019); 21 (ABRAHÃO *et al.*, 2019); 22 (CHOI; CHANG, 2018); 23 (SARABANDI *et al.*, 2018); 24 (ROCHA *et al.*, 2019); 25 (MORENO; COCERO; RODRÍGUEZ-ROJO, 2018); 26 (FARIAS-CERVANTES *et al.*, 2018); 27 (EL-MESSERY *et al.*, 2019); 28 (BUŠIĆ *et al.*, 2018); 29 (SARABANDI *et al.*, 2017); 30 (KALUŠEVIĆ *et al.*, 2017); 31 (HU *et al.*, 2018); 32 (CALVA-ESTRADA *et al.*, 2018); 33 (SANTANA *et al.*, 2016); 34 (MOSER *et al.*, 2017; MOSER; SOUZA; NICOLETTI, 2016); 35 (BISINELLA *et al.*, 2016).

É possível ainda pesquisar qual temperatura ideal para uma formulação específica. As variações de temperaturas no processo de microencapsulação do extrato fenólico podem ser comparadas com variações do polímero protetor. Com isso, descobre-se qual formulação consegue uma preservação eficaz do composto bioativo (KREATSOULI *et al.* 2019). Por exemplo, na secagem de extratos de cascas de uvas com proteínas do soro concentrado, a maior retenção de antocianinas é encontrada quando as amostras são submetidas à temperatura de entrada 190 °C e com uma formulação com maior concentração de proteínas (OLIVEIRA *et al.* 2018).

As etapas do processo de fabricação de micropartículas descritas nesse tópico são resumidas no fluxograma 01.

Fluxograma 1- Etapas do processo de elaboração de micropartículas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

#### 4.4.3 Caracterização das micropartículas

De acordo com os artigos revisados, a caracterização do produto em pó microencapsulado pode ser subdividida na seguinte forma: caracterização de

aspectos gerais do pó, atividade antioxidante, estabilidade durante o armazenamento, perfil de liberação *in vitro*, interação do núcleo com matriz protetora e aplicação em alimentos.

As quantificações de água (ligada ou livre) são as principais variáveis indicadoras que o produto passou pelo processo de *spray drying* de forma adequada. Em produtos lácteos desidratados, a atividade de água (água disponível no alimento) deve estar próxima de 0,2 a 25 °C. Esse valor é adequado para estabilidade do produto por maior tempo, pois nesse parâmetro o crescimento microbológico e atividades enzimáticas ficam limitadas. Outro indicador é a umidade (água total do alimento). Os produtos lácteos desidratados sofrem variações, mas estima-se que produtos à base de proteínas em pó devam ficar abaixo de 6% de umidade. Esses valores sofrem influência das condições operacionais utilizadas no aparelho. Uma forma de avaliar essas variáveis durante a secagem é utilizar um termo-higrômetro, esse equipamento consegue quantificar a umidade do ar que entra e sai do sistema e com base nesses valores é possível estimar o teor de água no produto final. Sabendo esse dado é possível alterar os parâmetros operacionais do *spray dryer* e adequá-los para alcançar os resultados esperados (BALDWIN *et al.*, 2020).

Soma-se a essas caracterizações, a quantificação, geralmente realizada por cromatografia e/ou por espectrofotometria, do composto bioativo. As pesquisas apresentam dois conceitos relacionados a essa quantificação. O primeiro é a da retenção de bioativos que é quantificado pela comparação entre a quantidade de substância bioativa na solução antes do processo de *spray drying* com a quantidade de bioativos retidos na micropartícula seca pós-processo (CASSOL; NOREÑA, 2020; TAVARES; ZAPATA NOREÑA, 2019). O segundo é o conceito de eficiência de encapsulamento (EE) que consiste em quantificar a quantidade de composto bioativo presente dentro da micropartícula livre do polímero protetor. Para isso, é utilizado algum método de separação do polímero, por exemplo, separação por algum solvente orgânico. Essas quantificações são relevantes para saber as perdas que ocorreram durante o processo, principalmente a degradação de substâncias sensíveis que podem advir de altas temperaturas do processo de secagem (MAHDI *et al.*, 2020; SANTANA *et al.*, 2016).

Da mesma forma, a caracterização morfológica permite ter um panorama das micropartículas. A técnica de microscopia eletrônica de varredura pode avaliar a morfologia das micropartículas de extrato de baunilha com WPC. Observa-se nesse

caso, entre outras características, uma estrutura com morfologia homogênea e esférica com superfície lisa. Essas características são um indicador que as partículas não sofreram rachaduras, sendo relevante na proteção e estabilidade da estrutura (CALVA-ESTRADA *et al.* 2018).

Além da morfologia é necessário avaliar o comportamento em água das micropartículas. Isso é necessário, pois esse novo produto será dissolvido antes do consumo ou será dissolvido como ingrediente em formulações tanto na indústria alimentícia como na farmacêutica. Entre diversas técnicas que fornecem dados desse comportamento, destacam-se a análise de solubilidade, higroscopicidade e molhabilidade (JOKIĆ *et al.*, 2020; MAHDI *et al.*, 2020).

Soma-se as essas três técnicas, a avaliação do perfil de distribuição do tamanho dessas partículas durante a reidratação pela técnica de difração a laser. Essas técnicas mostram que a composição do material de parede (maltodextrina, goma arábica e WPC) exerce influência significativa nos resultados de solubilidade, higroscopicidade e molhabilidade e perfil de reidratação do produto. A capacidade hidrofóbica ou hidrofílica dos constituintes influencia no comportamento em água do produto em pó (ROCHA *et al.* 2019).

Após o processo de microencapsulação por *spray drying*, é necessário avaliar a atividade antioxidante do produto. Isso se deve ao fato de que compostos fenólicos apresentam elevado poder antioxidante, mas podem ser degradados facilmente durante o processamento. Essa atividade se manifesta de duas formas: a primeira é sua capacidade redutora que doa hidrogênio e elétrons inibindo radicais livres no meio. A segunda é sua capacidade de quelação de metais como ferro e cobre, evitando a formação de radicais por metal. Essas duas propriedades evitam os danos oxidativos e previnem doenças com uma ação anti-inflamatória, antidiabética, neuroprotetora, antitumoral, entre outras (VUOLO; LIMA; MARÓSTICA JUNIOR, 2019). A importância dessa quantificação soma-se a possibilidade desses compostos serem utilizados na indústria de alimentos como oxidantes naturais em substituição de antioxidantes sintéticos (RIOS-MERA *et al.*, 2021).

Por isso, diversos métodos analíticos são utilizados para quantificar o poder antioxidante. Essas técnicas podem ser restritas devido ao fato de serem simulações *in vitro*, utilizando radicais livres que não estão presentes no corpo humano. O uso de mais uma técnica na pesquisa busca a comprovação do poder antioxidante desses compostos. Entre diversas disponíveis, as principais usadas são: ensaio de redução

de cobre (CUPRAC), ensaio da capacidade antioxidante equivalente trolox (ABTS ou TEAC), ensaio da capacidade de redução de ferro do plasma (FRAP), ensaio da eliminação de radicais 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), ensaio de absorção de radical de oxigênio (ORAC) (VUOLO; LIMA; MARÓSTICA JUNIOR, 2019).

Aplicando as técnicas de ABTS, DPPH e HRSA no processo de microencapsulação de fenólicos por proteínas lácteas, estudos demonstram que a avaliação antioxidante das micropartículas sofre variações dias após o processo de *spray drying* (ABRAHÃO *et al.*, 2019; CASSOL; NOREÑA, 2020). Nessas análises, estima-se a queda da atividade antioxidante no produto após secagem quando comparado com extrato sem o encapsulamento, fato que, entre outras causas, pode ser explicado pela diluição dos fenólicos provocada pelo incremento de polímeros (BILUŠIĆ *et al.*, 2020).

A interação formada na microencapsulação do agente protetor com compostos bioativos, principalmente fenólicos, pode ajudar na biodisponibilidade desse composto durante a etapa digestiva. O conceito de biodisponibilidade é amplo formado pela bioacessibilidade (teor disponível para absorção nas regiões de absorção intestinais) e bioatividade (teor de substancias que foram absorvidas e metabolizadas realizando algum efeito específica no organismo). A avaliação da bioacessibilidade de compostos microencapsulados é feita pelo perfil de liberação durante a etapa digestiva simulada *in vitro*. Devido a essa condição simulada, pode ser que o resultado encontrado seja diferente do que realmente acontece de fato, pois na alimentação humana estão envolvidos outros fatores como, por exemplo, a microbiota intestinal que interfere na absorção pelas células epiteliais (GRGIĆ *et al.*, 2020).

Além disso, o comportamento das micropartículas com proteínas lácteas apresenta variações durante a digestão simulada. Caseínas formam compostos sólidos insolúveis com estabilidade física. Isso favorece a não degradação durante a etapa digestiva. Por outro lado, as proteínas do soro apresentaram comportamento diferente, formam micropartículas líquidas com a liberação lenta de fenólicos (LIAO *et al.*, 2021). Além dessa diversidade na liberação do bioativo, micropartículas com proteínas lácteas podem garantir a estabilidade de fenólicos após a etapa digestão gástrica duodenal simulada (BILUŠIĆ *et al.*, 2020).

Além da liberação na etapa digestiva, a perda durante a etapa de armazenamento também deve ser considerada. As condições de estocagem, principalmente umidade e temperatura, interferem na quantidade de compostos

bioativos disponíveis. O uso de material protetor previne a degradação de fenólicos quando comparado com amostras sem agentes protetores. Além disso, a mistura de proteína com algum carboidrato aumenta a eficácia de proteção durante a estocagem (RAJAPAKSHA; SHIMIZU, 2020). Evidências mostram que as proteínas do soro apresentam melhor proteção de fenólicos do café, durante a estocagem, quando comparadas com outros polímeros protetores (ABRAHÃO *et al.*, 2019).

Sendo assim, o objetivo da microencapsulação não deve ser apenas durante a etapa digestiva. É preciso avaliar durante a etapa de estocagem, principalmente se o objetivo é desenvolver ingredientes para agregar compostos fenólicos em outros produtos alimentícios. Um resumo das principais técnicas encontradas em pesquisas que caracterizaram produtos microencapsulados é apresentado no quadro 07.

Quadro 7 - Técnicas utilizadas na caracterização de produtos microencapsulados por *spray drying*.

Polímero	Fonte dos fenólicos do Núcleo	Aw	Umidade	E.E. / Rendimento	Atividade antioxidante	Perfil de liberação	Interação	Estabilidade	Aplicação	Autores
NaCAS	Concentrado de groselha preta ( <i>Ribes nigrum</i> )	NR	S	S	DPPH e FRAP	S	NR	NR	NR	(WU <i>et al.</i> , 2021)
CM e WPI	Mirtilo ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )	NR	S	S	NR	S	FTIR e espectroscopia de fluorescência	NR	NR	(LIAO <i>et al.</i> , 2021)
WPI	Mirtilo ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )	NR	NR	S	NR	NR	FTIR.	NR	NR	(TATAR TURAN; KAHYAOGU, 2020)
WPI	Casca da batata doce ( <i>Ipomoea batatas</i> )	S	S	S	NR	NR	NR	S, até 60 dias.	NR	(ŠEREGELJ <i>et al.</i> , 2020)
NaCAS e NaCAS com outros polímeros	Chá preto após o uso (folhas da planta <i>Camellia synensis</i> )	NR	NR	S	NR	NR	NR	S, até 40 dias.	NR	(RAJAPAKSHA; SHIMIZU, 2020)
CM reticuladas por transglutaminase	Casca da jabuticaba ( <i>Plinia jabuticaba</i> )	S	NR	NR	DPPH	NR	NR	S, até 50 dias.	NR	(NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2020)
leite integral com outros polímeros	Soja	NR	S	S	NR	NR	NR	S, 16 dias	NR	(RAHMAN MAZUMDER; RANGANATHAN, 2020)

Polímero	Fonte dos fenólicos do Núcleo	Aw	Umidade	E.E. / Rendimento	Atividade antioxidante	Perfil de liberação	Interação	Estabilidade	Aplicação	Autores
WPC	Cascas de grãos de cacau	NR	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(JOKIĆ <i>et al.</i> , 2020)
WPI e WPI + polímeros	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	S	S	S	ABTS, DPPH e HRSA.	NR	FTIR	S, 30 dias	NR	(CASSOL; NOREÑA, 2020)
WPI	Tomilho, sálvia, alecrim e orégano.	S	NR	NR	DPPH, FRAP e ORAC	S	FTIR	NR	NR	(BILUŠIĆ <i>et al.</i> , 2020)
WPI + polímeros	Alho ( <i>Allium sativum</i> L.)	S	S	S	ABTS	NR	FTIR	NR	NR	(TAVARES; ZAPATA NOREÑA, 2019)
SMP	Arônia ( <i>Aronia melanocarpa</i> )	NR	S	S	NR	S	FTIR	NR	NR	(ČUJIĆ-NIKOLIĆ <i>et al.</i> , 2019)
WPC + polímeros	Mirtilo ( <i>Vaccinium myrtillus</i> )	NR	NR	S	NR	NR	NR	S, 10 dias	NR	(XU <i>et al.</i> , 2019)
WPI	Pimenta vermelha	S	S	S	NR	S	FTIR	NR	S, logurte.	(ŠEREGELJ <i>et al.</i> , 2019; VULIĆ <i>et al.</i> , 2019)
NaCAS, SMP e NaCAS, SMP + polímeros.	Erva <i>Elsholtzia ciliata</i> .	NR	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(PUDZIUVELYT E <i>et al.</i> , 2019)
WPI e WPI + polímeros	Arroz preto tailandês ( <i>Leum Pua</i> ).	NR	NR	S	ABTS	S	NR	NR	NR	(NORKAEW <i>et al.</i> , 2019)

Polímero	Fonte dos fenólicos do Núcleo	Aw	Umidade	E.E. / Rendimento	Atividade antioxidante	Perfil de liberação	Interação	Estabilidade	Aplicação	Autores
WPI + polímeros.	Cidra ( <i>Citrus medica L. var. Sarcodactylis Swingle</i> )	S	S	S	NR	NR	FTIR	S	NR	(MAHDI <i>et al.</i> , 2020)
WPC e WPC + polímeros	Águas residuais de moinho de azeite	NR	NR	NR	DPPH, ABTS +, atividade protetora contra danos ao DNA induzidos pelo radical peroxil (ROO)	NR	NR	NR	NR	(KREATSOULI <i>et al.</i> , 2019)
WPI e WPI + polímero	Folha de <i>Phyllanthus niruri</i>	NR	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(GIMBUN <i>et al.</i> , 2019)
SMP e SMP + polímeros.	Café verde	S	S	S	ABTS e Inibição de lipase.	S	NR	NR	NR	(DESAI <i>et al.</i> , 2019)
NaCAS + polímeros	Resveratrol	S	S	S	NR	S	NR	NR	NR	(CONSOLI <i>et al.</i> , 2019)
WPC e WPC + polímeros	Suco de amora-preta ( <i>Rubus fruticosus L.</i> )	NR	NR	S.	NR	S	FTIR	S, 10 semanas	NR	(COLÍN-CRUZ <i>et al.</i> , 2019)
WPI e WPI + polímeros.	Café expresso após o uso	Fez isotermas	Fez isotermas	S	DPPH e FRAP	NR	NR	S, 42 dias.	NR	(ABRAHÃO <i>et al.</i> , 2019)

Polímero	Fonte dos fenólicos do Núcleo	Aw	Umidade	E.E. / Rendimento	Atividade antioxidante	Perfil de liberação	Interação	Estabilidade	Aplicação	Autores
WPC e WPC + polímero.	Ácido Gálico	NR	S	S	NR	S	FTIR	S, 20 dias	NR	(CHOI; CHANG, 2018)
Mistura de SMP e WPI + polímeros	Bagaço de uva	NR	S	S	DPPH	NR	NR	s, 45 dias	NR	(TSALI; GOULA, 2018)
WPC + polímeros	Suco de maçã	NR	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(SARABANDI <i>et al.</i> , 2018)
WPC e WPC + polímeros	Jabuticaba, Jussara e Mirtilo.	S	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(ROCHA <i>et al.</i> , 2019)
WPC	Suco de uva vermelha.	NR	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2018)
WPI	Bagaço de uva.	S.	S	NR	ORAC	S	FTIR	S	NR	(MORENO; COCERO; RODRÍGUEZ-ROJO, 2018)
WPI e WPI + polímeros.	Amoras pretas.	NR	NR	S	ABTS, FRAP, DPPH	S	NR	NR	NR	(FARIAS-CERVANTES <i>et al.</i> , 2018)
WPC + polímeros	Casca de maçã.	NR	NR	S	NR	NR	NR	S, 15 dias	S, logurte.	(EL-MESSERY <i>et al.</i> , 2019)
WPI + polímeros	Folhas de alecrim ( <i>Rosmarinus officinalis L.</i> )	NR	NR	S	DPPH e ABTS.	NR	NR	NR	NR	(BUŠIĆ <i>et al.</i> , 2018)

Polímero	Fonte dos fenólicos do Núcleo	Aw	Umidade	E.E. / Rendimento	Atividade antioxidante	Perfil de liberação	Interação	Estabilidade	Aplicação	Autores
WPC + polímeros.	Suco de cereja concentrado	NR	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	(SARABANDI <i>et al.</i> , 2017)
SMP	Uva vermelha Prokupac ( <i>Vitis vinifera L.</i> )	S	NR	S	NR	S	FTIR	NR	NR	(KALUŠEVIĆ <i>et al.</i> , 2017)
WPC + polímeros.	Cascas de frutas cítricas	NR	NR	S	DPPH	NR	FTIR	NR	NR	(HU <i>et al.</i> , 2018)
WPC	Baunilha ( <i>Vanilla planifolia Andrews</i> )	S	S	NR	DPPH	NR	NR	S, 35 Dias	NR	(CALVA-ESTRADA <i>et al.</i> , 2018)
WPC e WPC + polímeros.	Polpa de Jussara ( <i>Euterpe edulis M</i> )	NR	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	(SANTANA <i>et al.</i> , 2016)
WPC + polímeros	Suco de uva ( <i>BRS Violeta</i> )	NR	S	S	DPPH	NR	NR	S, 150 dias	NR	(MOSER <i>et al.</i> , 2017; MOSER; SOUZA; NICOLETTI TELIS, 2017)
WPC	Suco de yacon ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> )	S	S	NR	NR	NR	NR	NR	NR	(BISINELLA <i>et al.</i> , 2016)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Siglas: S – Sim, NR – Não relatado, NaCAS – Caseinato de sódio, SMP - leite em pó desnatado inglês *skim milk powder*, CM - Caseína Micelar, WPI - Proteína do soro isolada do inglês *Whey protein isolate*, WPC – Proteína do soro concentrada do inglês *whey protein concentrate*.

O uso desses produtos microencapsulados em matrizes alimentícias tem por objetivo aumentar o teor de compostos bioativos com alegações funcionais a saúde. O processo de microencapsulação além de proteger na degradação de fenólicos no armazenamento pode favorecer o mascaramento de odores indesejáveis que algumas substâncias fenólicas apresentam em sua forma natural, com exemplo, extrato de café verde (AGUIAR; ESTEVINHO; SANTOS, 2016).

Após a aplicação em outro produto alimentício, é preciso avaliar a alteração de características físico-químicas do produto final. Atributos reológicos do iogurte, como a cor e a viscosidade, são características que são alteradas quando recebem fenólicos da casca da maçã microencapsulados por proteínas lácteas em sua formulação (EL-MESSERY *et al.*, 2019). A interação com componentes da matriz alimentar pode causar efeitos desejáveis. A degradação de polifenóis conjugados durante o armazenamento pode favorecer o aumento do teor de fenólicos totais em iogurte enriquecido com fenólicos da pimenta vermelha (ŠEREGELJ *et al.*, 2019). Em síntese, a avaliação reológica e a aceitação sensorial são capazes de fornecerem indícios de alteração das características originais do produto.

## 5 CONCLUSÃO

Esta revisão trouxe os principais trabalhos dos últimos cinco anos que utilizaram produtos à base de proteínas lácteas como agentes protetores de compostos fenólicos naturais no processo de microencapsulação por *spray dryer*. Conforme a análise desses trabalhos, é relevante compreender as características das proteínas lácteas, do composto núcleo microencapsulado e do processo de microencapsulação. Essas informações colaboram no desenvolvimento de novos produtos. Além disso, as pesquisas que aplicaram as proteínas lácteas no processo de microencapsulação de fenólicos enfrentaram diversas variáveis durante processo de fabricação. Escolhas foram feitas na extração dos fenólicos, no tipo de produto derivado de proteínas lácteas utilizado, na formulação da solução bobeadada no equipamento, nos parâmetros operacionais e nas técnicas analíticas usadas na caracterização do produto microencapsulado. Pesquisas que observaram essas questões discutidas nessa revisão conseguem comprovar que produtos derivados de proteínas lácteas, usados isoladamente ou combinados com outros polímeros, são opções viáveis e promissoras na elaboração de novos produtos com substâncias fenólicas naturais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD EL-MAKSOUUD, A. A. *et al.* Adding functionality to milk-based protein: Preparation, and physico-chemical characterization of  $\beta$ -lactoglobulin-phenolic conjugates. **Food Chemistry**, v. 241, p. 281–289, 2018.
- ABD EL-SALAM, M. H.; EL-SHIBINY, S. Preparation and properties of milk proteins-based encapsulated probiotics: a review. **Dairy Science & Technology**, v. 95, n. 4, p. 393–412, 2015.
- ABRAHÃO, F. R. *et al.* Microencapsulation of bioactive compounds from espresso spent coffee by spray drying. **LWT**, v. 103, n. September 2018, p. 116–124, 2019.
- 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.
- AMISSAH, E. A.; BROWN, J.; HARDING, J. E. Protein supplementation of human milk for promoting growth in preterm infants. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 2020, n. 9, 2020.
- BALDWIN, A. *et al.* Chapter 11 - Effects of drying and storage on milk proteins. *In*: BOLAND, M.; SINGH, H. (ed.). **Milk Proteins**. 3rd ed. [S. l.] Editora: Academic Press, 2020, cap. 11 p. 423–466.
- BAUER, D. *et al.* Effect of Roasting Levels and Drying Process of *Coffea canephora* on the Quality of Bioactive Compounds and Cytotoxicity. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 11, p. 3407, 31 out. 2018.
- BHATT, T.; PATEL, K. Carotenoids: Potent to Prevent Diseases Review. **Natural Products and Bioprospecting**, v. 10, n. 3, p. 109–117, 2020.
- BILUŠIĆ, T. *et al.* Influences of freeze- and spray-drying vs. encapsulation with soy and whey proteins on gastrointestinal stability and antioxidant activity of Mediterranean aromatic herbs. **International Journal of Food Science & Technology**. 2020.
- BISINELLA, R. Z. B. *et al.* Thermal analysis as screening technique to assess spray-drying process of encapsulated “yacon” juice. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 126, n. 3, p. 1841–1849, 2016.
- BONGIOVANNI, T. *et al.* Nutritional interventions for reducing the signs and symptoms of exercise-induced muscle damage and accelerate recovery *in* athletes: current knowledge, practical application and future perspectives. **Eur J Appl Physiol**. v. 120, p. 1965-1996, 2020.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 76, de 26 de novembro de 2018. Institui os regulamentos técnicos que fixam a identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 230, 30 nov. 2018.

BRITT, J. H. *et al.* Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3722–3741, 2018.

BÜCHI LABORTECHNIK. Secagem por atomização e encapsulamento: formação de partículas em escala de laboratório. [S. l.: s. n.]. [2020?] Disponível em: <https://www.buchi.com/br-pt/products/spray-drying-and-encapsulation/mini-spray-dryer-b-290>. Acesso em: 15/08/2021.

BUŠIĆ, A. *et al.* The Potential of Combined Emulsification and Spray Drying Techniques for Encapsulation of Polyphenols from Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Leaves. **Food technology and biotechnology**, v. 56, n. 4, p. 494–505, dez. 2018.

CALVA-ESTRADA, S. J. *et al.* Microencapsulation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) and powder characterization. **Powder Technology**, v. 323, p. 416–423, 2018.

CARR, A.; GOLDING, M. Functional Milk Proteins Production and Utilization: Casein-Based Ingredients. *In*: MCSWEENEY, P.; O'MAHONY, J. (Ed.). **Advanced Dairy Chemistry Volume 1B: Proteins: Applied Aspects**. 4th. ed. New York - EUA, Editora: Springer, 2016, cap. 2 p. 35–66.

CARTER, B. G. *et al.* Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 3, p. 2465–2479, 1 mar. 2021.

CARTER, B. G.; DRAKE, M. A. Invited review: The effects of processing parameters on the flavor of whey protein ingredients. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 8, p. 6691–6702, 2018.

CASSOL, L.; NOREÑA, C. P. Z. Microencapsulation and accelerated stability testing of bioactive compounds of *Hibiscus sabdariffa*. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 2, p. 1599–1610, 2020.

CHOI, Y.-R.; CHANG, Y. H. Microencapsulation of gallic acid through the complex of whey protein concentrate-pectic polysaccharide extracted from *Ulmus davidiana*. **Food Hydrocolloids**, v. 85, p. 222–228, 2018.

COIMBRA, P. P. S.; CARDOSO, F. DE S. N.; GONÇALVES, É. C. B. DE A. Spray-drying wall materials: relationship with bioactive compounds. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1–18, 2 jul. 2020.

COLÍN-CRUZ, M. A. *et al.* Co-encapsulation of bioactive compounds from blackberry juice and probiotic bacteria in biopolymeric matrices. **LWT**, v. 110, p. 94–101, 2019.

CONSOLI, L. *et al.* Resveratrol-loaded microparticles: Assessing Maillard conjugates as encapsulating matrices. **Powder Technology**, v. 353, p. 247–256, 2019.

ĆUJIĆ-NIKOLIĆ, N. *et al.* Chokeberry polyphenols preservation using spray drying: effect of encapsulation using maltodextrin and skimmed milk on their recovery following in vitro digestion. **Journal of microencapsulation**, v. 36, n. 8, p. 693–703, 2019.

dez. 2019.

DE ARAÚJO, F. F. *et al.* Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. **Food Chemistry**, v. 338, p. 127535, 2021.

DESAI, N. M. *et al.* Microencapsulation of antioxidant phenolic compounds from green coffee. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, v. 49, n. 4, p. 400–406, 2019.

DHESI, A. *et al.* Cow's milk protein allergy. **Paediatrics and Child Health (United Kingdom)**, v. 30, n. 7, p. 255–260, 2020.

DUPONT, D.; *et al.* Quantitation of Proteins in Milk and Milk Products. *In*: McSweeney P. L. H., Fox, P. F. (Ed.). **Advanced Dairy Chemistry Volume 1A: Proteins: Basic Aspects**. 4th. ed. New York - EUA, Editora: Springer, 2013, cap. 3 p. 87–134.

EL-MESSERY, T. *et al.* Microencapsulation of natural polyphenolic compounds extracted from apple peel and its application in yoghurt. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 18, p. 25–34, 30 mar. 2019.

ESTEVINHO, B. N. *et al.* Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, n. 2, p. 138–155, 2013.

FARIAS-CERVANTES, V. S. *et al.* Antimicrobial effect and in vitro release of anthocyanins from berries and Roselle obtained via microencapsulation by spray drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 10, p. e13713, 1 out. 2018.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos princípios e prática**. Revisão técnica: Julio Alberto Nitzke 4 ed. Porto Alegre: Artmed . 2019.

FERNANDES, S. S.; COELHO, M. S.; SALAS-MELLADO, M. DE LAS M. Chapter 7 - Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods: Polyphenols, Carotenoids, Peptides From Animal and Plant Sources New. *In*: CAMPOS, M. R. S. (Ed.). **Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications**. [S. l.] editora:Woodhead Publishing, 2019, cap 7, p. 129–142.

FOX, P. F. *et al.* Production and Utilization of Milk *in*: FOX, P. F. ; UNIACKE-LOWE, T.; MCSWEENEY P.L.H.; O' MAHONY, J. **Dairy Chemistry and Biochemistry**. 2nd. Switzerland: Springer International Publishing, 2015, cap 1, p 1 -19.

FRAGA-CORRAL, M. *et al.* By-Products of Agri-Food Industry as Tannin-Rich Sources: A Review of Tannins' Biological Activities and Their Potential for Valorization. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 137, 2021.

GHARSALLAOUI, A. *et al.* Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007.

GIMBUN, J. *et al.* Assessment of Phenolic Compounds Stability and Retention during Spray Drying of Phyllanthus niruri Extracts. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 58, n. 2, p. 752–761, 16 jan. 2019.

GOMES, J. V. P. *et al.* Morphological characterization of whey protein concentrate admixture of microencapsulated curcumin by spray drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 2, 2020.

GOULDING, D. A.; FOX, P. F.; O'MAHONY, J. A. Chapter 2 - Milk proteins: An overview. *In*: BOLAND, M.; SINGH, H. (ed.). **Milk Proteins** . 3rd ed. [S. l.] Editora: Academic Press , 2020, cap. 2, p. 21–98.

GOUTHAMCHANDRA, K. *et al.* Chlorogenic acid complex (CGA7), standardized extract from green coffee beans exerts anticancer effects against cultured human colon cancer HCT-116 cells. **Food Science and Human Wellness**, v. 6, n. 3, p. 147–153, 2017.

GRGIĆ, J. *et al.* Review Role of the Encapsulation in Bioavailability of Phenolic Compounds . **Antioxidants**, v. 9, n. 10, p. 923, 2020.

HORNE, D. S. Chapter 6 - Casein Micelle Structure and Stability. *In*: BOLAND, M.; SINGH, H. (ed.). **Milk Proteins** . 3rd ed. [S. l.] Editora: Academic Press , 2020, cap. 6, p. 213–250.

HU, Y. *et al.* Physical stability and antioxidant activity of citrus flavonoids in arabic gum-stabilized microcapsules: Modulation of whey protein concentrate. **Food Hydrocolloids**, v. 77, p. 588–597, 2018.

JOKIĆ, S. *et al.* An Approach to Value Cocoa Bean By-Product Based on Subcritical Water Extraction and Spray Drying Using Different Carriers. **Sustainability**, v. 12 , n. 6:2174, 2020.

KALUŠEVIĆ, A. M. *et al.* Effects of different carrier materials on physicochemical properties of microencapsulated grape skin extract. **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 11, p. 3411–3420, out. 2017.

KESHANI, S. *et al.* Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152–162, 2015.

KIOKIAS, S.; PROESTOS, C.; OREOPOULOU, V. Phenolic Acids of Plant Origin—A Review on Their Antioxidant Activity In Vitro (O/W Emulsion Systems) Along with Their in Vivo Health Biochemical Properties. **Foods**, v.9, n. 4:534, 2020.

KREATSOULI, K. *et al.* A Polyphenolic Extract from Olive Mill Wastewaters Encapsulated in Whey Protein and Maltodextrin Exerts Antioxidant Activity in Endothelial Cells. **Antioxidants** , v. 5, p. 8:280, 2019.

KUMAR, M. *et al.* Recent trends in extraction of plant bioactives using green technologies: A review. **Food Chemistry**, v. 353, p. 129431, 2021.

KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D. An Overview of Various Technologies for the Treatment of Dairy Wastewaters. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 51, n. 5, p. 442–452, 14 abr. 2011.

LAGRANGE, V.; WHITSETT, D.; BURRIS, C. Global Market for Dairy Proteins. **Journal of Food Science**, v. 80, n. S1, p. A16–A22, 1 mar. 2015.

LIAO, M. *et al.* The in-vitro digestion behaviors of milk proteins acting as wall materials in spray-dried microparticles: Effects on the release of loaded blueberry anthocyanins. **Food Hydrocolloids**, v. 115, p. 106620, 2021.

LIVNEY, Y. D. Milk proteins as vehicles for bioactives. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 15, n. 1, p. 73–83, 2010.

LOAIZA-CANO, V. *et al.* Antiviral role of phenolic compounds against dengue virus: A review. **Biomolecules**, v. 11, n. 1, p. 1–28, 2021.

MAHDI, A. A. *et al.* Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 1125–1134, 2020.

MCCLEMENTS, D. J. Encapsulation, protection, and release of hydrophilic active components: Potential and limitations of colloidal delivery systems. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 219, p. 27–53, 2015.

MCCMAHON, D. J.; OOMMEN, B. S. Casein Micelle Structure, Functions and Interactions. In: McSweeney P. L. H., Fox, P. F. (Ed.). **Advanced Dairy Chemistry Volume 1A: Proteins: Basic Aspects**. 4th. ed. New York - EUA, Editora: Springer, 2013, cap. 6, p.185–209.

MORENO, T.; COCERO, M. J.; RODRÍGUEZ-ROJO, S. Storage stability and simulated gastrointestinal release of spray dried grape marc phenolics. **Food and Bioproducts Processing**, v. 112, p. 96–107, 2018.

MOSER, P. *et al.* Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. **Food Chemistry**, v. 214, p. 308–318, 2017.

MOSER, P.; SOUZA, R. T. DE; NICOLETTI TELIS, V. R. Spray Drying of Grape Juice From Hybrid CV. BRS Violeta: Microencapsulation of Anthocyanins Using Protein/Maltodextrin Blends as Drying Aids. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 1, 2017.

MOSER, P.; SOUZA, R.; NICOLETTI, V. Spray drying of grape juice from hybrid cv. brs violeta: microencapsulation of anthocyanins using protein/maltodextrin blends as drying aids: spray drying of grape juice from hybrid. **Journal of Food Processing and Preservation**, n. 41: e12852., 1 jul. 2016.

MOUGHAN, P. J. Chapter 17 - Milk proteins: A rich source of bioactives for

developing functional foods. *In*: BOLAND, M.; SINGH, H. (ed.). **Milk Proteins** . 3rd ed. [S. l.] Editora: Academic Press , 2020, cap. 17 p. 633–649.

NOGUEIRA, M. H. *et al.* Cross-linked casein micelle used as encapsulating agent for jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) phenolic compounds by spray drying. **International Journal of Dairy Technology**, v. 73, n. 4, p. 765–770, 1 nov. 2020.

NORKAEW, O. *et al.* Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules. **Food Chemistry**, v. 294, p. 493–502, 2019.

O'SULLIVAN, J. J. *et al.* Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 243, p. 57–69, 2019.

OLIVEIRA, B. E. *et al.* Spray-drying of grape skin-whey protein concentrate mixture. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 9, p. 3693–3702, 2018.

OZKAN, G. *et al.* A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, v. 272, p. 494–506, 2019.

PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**, v. 5, p. e47, 2016.

PEREIRA, K. *et al.* Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 14 jun. 2018.

PERRONE, Í. *et al.* Soro em pó: estado vítreo e condições de operação do Spray Dryer. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, p. 106, 7 jun. 2017.

PIÑÓN-BALDERRAMA, C. I. *et al.* Encapsulation of Active Ingredients in Food Industry by Spray-Drying and Nano Spray-Drying Technologies. **Processes**, v. 8 n. (8)889, 2020.

PROSSER, C. G. Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 2, p. 257–265, 1 fev. 2021.

PUDZIUVELYTE, L. *et al.* Microencapsulation of *Elsholtzia ciliata* Herb Ethanolic Extract by Spray-Drying: Impact of Resistant-Maltodextrin Complemented with Sodium Caseinate, Skim Milk, and Beta-Cyclodextrin on the Quality of Spray-Dried Powders. **Molecules**, v. 24, n. 8, abr. 2019.

PUNIA, H. *et al.* Identification and Detection of Bioactive Peptides in Milk and Dairy Products: Remarks about Agro-Foods. **Molecules**, v. 25, n. 3328, 2020.

RAHMAN MAZUMDER, M. A.; RANGANATHAN, T. V. Encapsulation of isoflavone with milk, maltodextrin and gum acacia improves its stability. **Current Research in**

**Food Science**, v. 2, p. 77–83, 2020.

RAJAPAKSHA, D. S. W.; SHIMIZU, N. Valorization of spent black tea by recovery of antioxidant polyphenolic compounds: Subcritical solvent extraction and microencapsulation. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 8, p. 4297–4307, 1 ago. 2020.

RAY, S.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. **Food Bioscience**, v. 13, p. 76–83, 2016.

REZVANKHAH, A.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASKARI, G. Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. **Drying Technology**, v. 38, n. 1–2, p. 235–258, 2 jan. 2020.

RIOS-MERA, J. D. *et al.* Advances and gaps in studies on healthy meat products and their relationship with regulations: The Brazilian scenario. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 833–840, 2021.

ROCHA, J. DE C. G. *et al.* Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, v. 343, p. 317–325, 2019.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, C.; SEGURA-CARRETERO, A.; DEL MAR CONTRERAS, M. Phenolic compounds as natural and multifunctional anti-obesity agents: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 8, p. 1212–1229, 2019.

ROY, D. *et al.* Composition, Structure, and Digestive Dynamics of Milk From Different Species—A Review. **Frontiers in Nutrition**, v. 7, n. October, p. 1–17, 2020.

SAIFULLAH, M. *et al.* Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 230–251, 2019.

SANDOVAL-RAMÍREZ, B. A. *et al.* Exploring the effects of phenolic compounds to reduce intestinal damage and improve the intestinal barrier integrity: A systematic review of in vivo animal studies. **Clinical Nutrition**, 2020.

SANTANA, A. A. *et al.* Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. **Food Chemistry**, v. 212, p. 1–9, 2016.

SARABANDI, K. *et al.* Effect of carrier types and compositions on the production yield, microstructure and physical characteristics of spray dried sour cherry juice concentrate. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, n. 4, p. 1602–1612, 2017.

SARABANDI, K. *et al.* Effect of different carriers on microstructure and physical characteristics of spray dried apple juice concentrate. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 8, p. 3098–3109, 2018.

SAWYER, L. b - Lactoglobulin. *In*: McSweeney P. L. H., Fox, P. F. (Ed.). **Advanced Dairy Chemistry Volume 1A: Proteins: Basic Aspects**. 4th. ed. New York - EUA, Editora: Springer, 2013, cap. 7, p. 211–259.

SCHUCK, P. *et al.* Energy Consumption in the Processing of Dairy and Feed Powders by Evaporation and Drying. **Drying Technology**, v. 33, n. 2, p. 176–184, 25 jan. 2015.

SCHUCK, P. *et al.* Recent advances in spray drying relevant to the dairy industry: A comprehensive critical review. **Drying Technology**, v. 34, n. 15, p. 1773–1790, 17 nov. 2016.

ŠEREGELJ, V. *et al.* Application of encapsulated natural bioactive compounds from red pepper waste in yogurt. **Journal of microencapsulation**, v. 36, n. 8, p. 704–714, dez. 2019.

ŠEREGELJ, V. *et al.* Encapsulation and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds from Sweet Potato Peel During Storage. **Food technology and biotechnology**, v. 58, n. 3, p. 314–324, set. 2020.

SILVA, N. N. *et al.* Micelas de caseína: dos monômeros à estrutura supramolecular. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1–15, 2019.

ŚWIECA, M. *et al.* Wheat bread enriched with green coffee – In vitro bioaccessibility and bioavailability of phenolics and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1451–1457, 2017.

TAN, S.; ZHONG, C.; LANGRISH, T. Pre-gelation assisted spray drying of whey protein isolates (WPI) for microencapsulation and controlled release. **LWT**, v. 117, p. 108625, 2020.

TATAR TURAN, F.; KAHYAOGU, T. The effect of an ultrasonic spray nozzle on carbohydrate and protein-based coating materials for blueberry extract microencapsulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 1, p. 120–130, 2020.

TAVARES, G. M. *et al.* Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends. **Trends in Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 5–20, 2014.

TAVARES, L.; ZAPATA NOREÑA, C. P. Encapsulation of garlic extract using complex coacervation with whey protein isolate and chitosan as wall materials followed by spray drying. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 360–369, 2019.

TSALI, A.; GOULA, A. M. Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. **Powder Technology**, v. 340, p. 194–207, 2018.

VULIĆ, J. *et al.* Bioavailability and Bioactivity of Encapsulated Phenolics and Carotenoids Isolated from Red Pepper Waste. **Molecules**, v. 24, n. 15, ago. 2019.

VUOLO, M. M.; LIMA, V. S.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R. Chapter 2 - Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. In: CAMPOS, M. R. S. . **Bioactive Compounds Health Benefits and Potential Applications**. [S.L.] Editora: Woodhead Publishing, 2019. cap. 2, p. 33–50.

WU, G. *et al.* Functionalization of sodium caseinate fortified with blackcurrant concentrate via spray-drying and freeze-drying techniques: The nutritional properties of the fortified particles. **LWT**, v. 142, p. 111051, 2021.

WU, X. *et al.* Reducing the allergenic capacity of  $\beta$ -lactoglobulin by covalent conjugation with dietary polyphenols. **Food Chemistry**, v. 256, p. 427–434, 2018.

WÜRTH, R.; FOERST, P.; KULOZIK, U. Development and evaluation of a spray drying microencapsulation process for water-insoluble milk protein capsules. **International Dairy Journal**, v. 61, p. 99–106, 2016.

XU, Q. *et al.* Microencapsulation and Stability Analysis of Blueberry Anthocyanins. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 252, p. 52133, 2019.

YAN, Y. *et al.* Chlorogenic acid inhibits hepatocellular carcinoma in vitro and in vivo. **The Journal of nutritional biochemistry**, v. 46, p. 68–73, ago. 2017.

ZANINI, B. *et al.* The effects of cow-milk protein supplementation in elderly population: Systematic review and narrative synthesis. **Nutrients**, v. 12, n. 9, p. 1–26, 2020.