



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DA VITÓRIA

LETÍCIA OLÍMPIA DE SANTANA

MICROENCAPSULAÇÃO DE *LACTICASEIBACILLUS*: uma revisão sistemática

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DA VITÓRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO, ATIVIDADE FÍSICA E
PLASTICIDADE FENOTÍPICA

LETÍCIA OLÍMPIA DE SANTANA

MICROENCAPSULAÇÃO DE *LACTICASE*/*BACILLUS*: uma revisão sistemática

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica.

Orientadora: Mariane Cajubá de Britto
Lira Nogueira

Coorientadora: Ana Lisa do Vale Gomes

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO

2023

Catálogo na Fonte
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFPE. Biblioteca Setorial do CAV.
Bibliotecária Jaciane Freire Santana CRB-4/2018

S232m Santana, Leticia Olimpia de.
Microencapsulação de *Lactiseibacillus*: uma revisão sistemática/ Leticia Olimpia de Santana - Vitória de Santo Antão, 2023.
62 f.; il.

Orientadora: Mariane Cajubá de Britto Lira Nogueira.
Coorientadora: Ana Lisa do Vale Gomes.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CAV, Pós-graduação em Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica - PPGNAFPF, 2023.
Inclui referências e anexo.

1. Probióticos. 2. Microbioma Gastrointestinal. I. Nogueira, Mariane Cajubá de Britto Lira (Orientadora). II. Gomes, Ana Lisa do Vale. III. Título.

611.33 CDD (23. ed.)

BIBCAV/UFPE - 04/2024

LETÍCIA OLÍMPIA DE SANTANA

MICROENCAPSULAÇÃO DE *LACTICASE*/*BACILLUS*: uma revisão sistemática

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Nutrição, Atividade Física e Plasticidade Fenotípica.

Aprovado em: 21/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Mariane Cajubá de Britto Lira Nogueira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Thaynan Raquel dos Prazeres Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Gerlane Souza de Lima (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Àqueles que estiveram ao meu lado, eu agradeço pela compreensão e incentivo. Em meio à demanda acadêmica, reconheço a importância do vosso apoio. Expresso aqui minha gratidão às orientadoras por serem fundamentais durante meu percurso no mestrado. Suas sábias orientações me guiaram no meu caminho acadêmico. Agradeço por compartilharem sua disposição e conhecimento que ajudaram no incentivo à minha melhora.

Com gratidão,

Letícia.

RESUMO

Lacticaseibacillus é um gênero de bactéria comumente utilizado para incorporação em alimentos probióticos. Essa utilização se dá pelos benefícios à saúde humana, principalmente ao trato gastrointestinal, além de serem consideradas seguras para o consumo. Os probióticos são susceptíveis ao estresse ambiental e ao trato gastrointestinal, e para que os seus benefícios sejam alcançados, se faz necessário que os probióticos alcancem o trato gastrointestinal numa quantidade maior que 10^8 UFC/g. Neste sentido, a microencapsulação vem sendo uma alternativa utilizada para proteger esses microrganismos dos estresses ambientais e das condições hostis presentes no trato gastrointestinal, podendo garantir que um número maior de microrganismos viáveis alcancem o intestino para cumprir sua função. Além do extenso uso como probióticos, bactérias do gênero *Lacticaseibacillus* e a sua microencapsulação são tópicos que possuem uma quantidade significativa e crescente de estudos considerados recentes, levando a uma notável necessidade de sistematização que congregue informações relevantes para evidenciar o que há de comprovação das suas vantagens. Por meio da revisão sistemática é possível organizar a literatura de modo que sirva de subsídio às próximas pesquisas científicas, além de poder guiar diretrizes, contribuindo para um consenso relacionado a prescrições do uso de probióticos em determinadas doenças. Assim, esta pesquisa possui como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura de estudos relacionados à microencapsulação de *Lacticaseibacillus*. A hipótese sugere que a microencapsulação é eficaz para a melhora da viabilidade dos *Lacticaseibacillus* em alimentos lácteos. A revisão sistemática foi conduzida em conformidade com as diretrizes do PRISMA, utilizando as bases de dados e de patente: Scopus, Pubmed, Scielo e Lilacs. A estratégia de pesquisa utilizada nas bases de dados consiste na recuperação de artigos através do uso dos termos "*lactobacillus*", "dairy food", "probiotics" e "microencapsulation", unidos por "AND". Foram captados estudos relacionados ao tema e incluídos os artigos publicados no período que abrange 2018 a 2023, nos idiomas inglês, espanhol e português. Foram excluídos os artigos repetidos, capítulos de livros, cartas ao editor, resumos de conferência, resenhas e artigos que incluam outros gêneros de microrganismos microencapsulados. Foi realizada uma busca sistemática com atualizações sobre o gênero *Lacticaseibacillus* e a

microencapsulação na área de alimentos. Decorrente da busca inicial, foram encontradas 48 respostas com base nos critérios previamente estabelecidos, sendo eles: PubMed= 16; Scopus= 31; Lilacs= 1; e ScieLo= 0. Foram utilizados 15 artigos para análise e discussão. A liofilização destacou-se como a técnica predominante na microencapsulação, amplamente empregada em alimentos como whey protein, iogurte e queijo. O modelo de pesquisa encontrado foi *in vivo*, utilizando animais com ambientes simulados do trato gastrointestinal. Em alguns casos, houve testes sensoriais que destacaram a positiva aceitação de alimentos contendo probióticos microencapsulados. Recomenda-se, para futuros estudos, uma investigação mais aprofundada das interações de *Lactobacillus* com a microbiota intestinal, visando o desenvolvimento de terapias personalizadas. Além disso, é crucial explorar o impacto de eventos externos, como a pandemia da Covid-19, e expandir a pesquisa para outros alimentos lácteos e não lácteos, a fim de compreender como diferentes composições influenciam a eficácia da microencapsulação.

Palavras-chave: alimentos; modulação intestinal; viabilidade de probióticos; bactérias; microencapsulação.

ABSTRACT

Lactocaseibacillus is a genus of bacteria commonly used for incorporation into probiotic foods. This use brings benefits to human health, especially the gastrointestinal tract, in addition to being considered safe for consumption. Probiotics are susceptible to environmental and gastrointestinal stress, and for their benefits to be realized, it is necessary for the probiotics to reach the gastrointestinal tract in quantities greater than 10^8 CFU/g. In this sense, microencapsulation has been an alternative used to protect these microorganisms from environmental stress and hostile conditions present in the gastrointestinal tract, ensuring that a greater number of viable microorganisms reach the intestine to fulfill their function. In addition to their extensive use as probiotics, bacteria of the genus *Lactocaseibacillus* and their microencapsulation are described as having a significant and growing amount of studies considered recent, leading to a notable need for systematization that brings together relevant information to highlight what is available to prove their advantages. Through a systematic review, it is possible to organize literature in a way that serves as a support for future scientific research, in addition to being able to guide guidelines, contributing to a consensus related to prescriptions for the use of probiotics in certain diseases. Therefore, this research aims to carry out a systematic review of the literature of studies related to the microencapsulation of *Lactocaseibaillus*. The hypothesis suggests that microencapsulation is effective for improving the improvement of *Lactocaseibacillus* in dairy foods. The systematic review was conducted in accordance with PRISMA guidelines, using the databases and patents: Scopus, Pubmed, Scielo and Lilacs. The search strategy used in the databases consists of retrieving articles using the terms “*lactobacillus*”, “dairy”, “probiotics” and “microencapsulation”, joined by “AND”. articles published in the period covering 2018 to 2023, in English, Spanish and Portuguese. Repeated articles, book chapters, letters to the editor, conference abstracts, reviews and articles that included other genera of microencapsulated microorganisms were excluded. a systematic search with updates on the genus *Lactocaseibacillus* and microencapsulation in the food sector. As a result of the initial search, 48 responses were found based on previously established criteria, namely: PubMed= 16; Scopus= 31; Lilacs= 1; and ScieLo= 0. 15 articles were used for analysis and discussion. Freeze-drying stood out as the predominantly microencapsulation technique, exclusively used in foods such as whey protein,

yogurt and cheese. The research model found was in vivo, using animals with simulated environments of the gastrointestinal tract. In some cases, there were sensory tests that highlighted the positive accessibility of foods containing microencapsulated probiotics. It is recommended, for future studies, a more in-depth investigation of the interactions of *Lacticaseibacillus* with the intestinal microbiota, evolving the development of personalized therapies. Furthermore, it is crucial to explore the impact of external events, such as the Covid-19 pandemic, and expand research to other dairy and non-dairy foods to understand how different compositions influence the effectiveness of microencapsulation.

Keywords: foods; gut modulation; Viability of probiotics; bacteria; microencapsulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 –** Esquema mostrando vários fatores que afetam a viabilidade do probiótico durante a produção, armazenamento e após a ingestão oral. 19
- Figura 2 –** Esquema apresentando bactérias encapsuladas. 27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência nacional de vigilância sanitária
DOI	Digital Object Identifier
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
<i>L.</i>	<i>Lactiseibacillus</i>
Lilacs	Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde
ND	Não detectado
OMS	Organização mundial da saúde
pH	Potencial hidrogeniônico
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PubMed	National Library of Medicine
SciELO	Scientific Electronic Library Online

LISTA DE SÍMBOLOS

µm	Micrômetro
g	Gramas
C	Celsius
UFC	Unidades formadoras de colônias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS	15
2.2 PROBIÓTICOS	16
2.3 <i>LACTICASEIBACILLUS spp.</i>	19
2.3.1 <i>Lactobacillus acidophilus</i>	21
2.3.2 <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>	22
2.3.3 <i>Lactobacillus gasseri</i>	23
2.3.4 <i>Lactobacillus helveticus</i>	24
2.3.5 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i>	25
2.4 MICROENCAPSULAÇÃO DE PROBIÓTICOS E SUAS APLICAÇÕES	25
2.4.1 <i>Definição</i>	25
2.4.2 <i>Técnicas de microencapsulação de probióticos</i>	28
2.4.3 <i>Aplicação de microrganismos probióticos microencapsulados em alimentos</i>	30
3 HIPÓTESE	32
4 OBJETIVOS	33
4.1 OBJETIVO GERAL	33
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
5 METODOLOGIA	34
6 ARTIGO	37
7 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55
ANEXO A – CARTA DE ACEITE DO ARTIGO	61

1 INTRODUÇÃO

Lacticaseibacillus é um gênero de bactéria comumente utilizado para incorporação em alimentos probióticos e essa utilização se dá pelas propriedades que essas bactérias possuem, ocasionando em benefícios à saúde humana, principalmente ao trato gastrointestinal, além de serem consideradas seguras para o consumo e ser um gênero regulamentado (Talib *et al.*, 2019). O gênero *Lacticaseibacillus* pode ser naturalmente encontrado em determinados alimentos fermentados, além de ser disponibilizado na forma de suplementos e utilizados para incorporação em matrizes alimentares (Frakolari, 2021; Sbehat, Mauriello, Altamimi, 2022).

Os probióticos são definidos como bactérias que conferem benefícios à saúde, quando administradas em quantidades adequadas. As vantagens se estendem desde a modulação do intestino até o aumento da imunidade, prevenindo e amenizando sintomas de diversas doenças (Olivares, Silva, Altamirano, 2017). A fim de assegurar a entrega dos benefícios dos probióticos aos consumidores, é necessário que esses microrganismos alcancem o trato gastrointestinal em uma forma viável e em quantidades apropriadas, ou seja, maior que 10^8 UFC/g, uma vez que esses probióticos em sua forma livre, ou seja, sem a encapsulação, são susceptíveis ao estresse ambiental e do trato gastrointestinal (Brasil, 2005; Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021).

A efetividade da entrega de microrganismos probióticos ao trato gastrointestinal humano é significativamente reduzida devido a diversos fatores relacionados à fisiologia humana (Sbehat, Mauriello, Altamimi, 2022). Entre esses elementos, destaca-se a interferência do pH no trato gastrointestinal, que desempenha um papel crucial na degradação dos alimentos e, conseqüentemente, na viabilidade dos probióticos. Adicionalmente, fatores ambientais como temperatura e a presença de oxigênio, presentes na fisiologia humana, exercem influência nesse contexto (Razavi *et al.*, 2021). Essa interferência pode se manifestar durante sua passagem pelo trato gastrointestinal. O déficit no número de probióticos também pode ser acentuado pelo manejo e armazenamento dos produtos. Além disso, a decisão relacionada à matriz alimentar que servirá de veículo para os probióticos possui sua importância, sendo necessário garantir um armazenamento adequado (Sbehat, Mauriello, Altamimi, 2022).

A composição do alimento desempenha um papel importante na sobrevivência dos probióticos, sendo evidente que alguns alimentos proporcionam um ambiente mais

propício para esses microrganismos, a exemplo dos produtos lácteos, que oferecem um pH que é considerado adequado para atingir as necessidades de sobrevivência dos probióticos. Vale ressaltar que muitos microrganismos probióticos são sensíveis a ambientes com pH excessivamente alto ou baixo, o que pode comprometer sua viabilidade (Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021).

Neste sentido, a microencapsulação vem sendo uma alternativa tecnológica utilizada para proteger esses microrganismos dos estresses ambientais e das condições hostis presentes no trato gastrointestinal, podendo garantir que um número maior de microrganismos viáveis cheguem ao intestino para cumprir sua função (Lopes *et al.*, 2021; Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021). Entretanto, a encapsulação de probióticos precisa ter uma adequada seleção da tecnologia a ser utilizada para que as micropartículas possam exercer sua função corretamente, que é manter a viabilidade dos probióticos, pois o tamanho e a sobrevivência destes vai variar de acordo com a tecnologia empregada (Sarao, Arora, 2017).

Além do extenso uso como probióticos, bactérias do gênero *Lacticaseibacillus* e a sua microencapsulação são tópicos que possuem uma quantidade significativa e crescente de estudos recentes, levando a uma notável necessidade de sistematização que congregue informações relevantes para evidenciar o que há de comprovação das suas vantagens. Por meio da revisão sistemática é possível organizar a literatura de modo que sirva de subsídio às próximas pesquisas científicas. Assim, esta pesquisa possuiu como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura de estudos relacionados à microencapsulação de *Lacticaseibacillus*.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente dissertação buscou aprofundar a compreensão acerca da temática que envolve o gênero *Lacticaseibacillus* como microrganismo utilizado como probiótico, em conjunto com a técnica de microencapsulação desempenhando um papel crucial na proteção e viabilidade desses probióticos. Para tal propósito, foram abordadas definições precisas dos conceitos envolvidos, explorando os benefícios proporcionados por esse microrganismo e essa tecnologia, bem como os desafios enfrentados e as potencialidades inerentes.

A fim de enriquecer a discussão, foram aprofundadas as definições conceituais do gênero *Lacticaseibacillus*, elucidando suas características distintivas e destacando sua relevância como probiótico, especialmente em relação ao trato gastrointestinal humano. Além disso, a abordagem da microencapsulação revelou como essa tecnologia se mostra eficaz na proteção dos probióticos contra fatores adversos do ambiente, ampliando sua viabilidade e funcionalidade ao longo do trato gastrointestinal.

Nesse contexto, foram analisados os benefícios potenciais da combinação do gênero *Lacticaseibacillus* com a microencapsulação, explorando as possíveis sinergias resultantes dessa associação. Paralelamente, houve identificação e debate dos desafios intrínsecos ao processo de microencapsulação, enfatizando aspectos relacionados à escolha dos materiais de encapsulação, processos de produção e estabilidade dos microrganismos encapsulados.

2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS

A nomenclatura de "alimentos funcionais" foi introduzida pela primeira vez no contexto científico na década de 1980 e, por um período considerável, permaneceu envolto em ambiguidade conceitual (Hijova, 2021). Em 2017, uma definição precisa emergiu, caracterizando alimentos funcionais como alimentos dietéticos, sejam eles processados ou *in natura*, que, quando incorporados de maneira consistente em uma dieta alimentar diversificada e devidamente adaptada a cada indivíduo, manifestam efeitos benéficos na saúde. Importante notar, porém, que a validação de tais efeitos requer investigações metodologicamente rigorosas, envolvendo ensaios controlados com placebo, a fim de substanciar sua eficácia real (Peng, 2020).

Essa clara delimitação conceitual conferiu ao termo uma aplicabilidade precisa, delimitando-o a alimentos que tenham sido objeto de estudos clínicos apropriados, para atingir os objetivos regulamentares de cada país, sendo a Agência Nacional de

Vigilância Sanitária responsável pelas normas brasileiras. Como tal, somente produtos alimentícios que tenham sido submetidos a essa questão científica podem, de fato, ser classificados como funcionais (Hijova, 2021).

A relevância desses antioxidantes reside na sua capacidade de se contrapor aos radicais livres, moléculas de natureza reativa, presentes no ambiente fisiológico, que, quando em excesso, concorrem para o estabelecimento de danos celulares, e, por conseguinte, atenuam o risco de insurgência de doenças oncológicas e o envelhecimento prematuro. Ademais, vale ressaltar que certos alimentos, a exemplo da cebola, têm sido associados à promoção da saúde cardiovascular e à homeostase metabólica (Hijova, 2021; Álvarez *et al.*, 2021).

Os alimentos funcionais assumem uma relevância notável, particularmente quando enriquecidos com os benefícios fisiológicos inerentes aos prebióticos e probióticos. Essa categoria de alimentos oferece uma oportunidade singular para modificações dietéticas direcionadas à microbiota. A perspectiva de alimentos funcionais enriquecidos com probióticos se coloca como uma abordagem proeminente para aprimorar a saúde humana. A capacidade desses componentes de modular a microbiota intestinal, aprimorar o perfil metabólico e atenuar fatores de risco associados à obesidade e doenças metabólicas destaca sua importância no panorama da nutrição (Hijova, 2021).

2.2 PROBIÓTICOS

O termo "probiótico", originado do grego "para a vida", tem sido utilizado há mais de dois mil anos, sendo este termo utilizado a primeira vez por Daniel Lilly e, desde 1907, suspeitava-se que a microbiota intestinal poderia influenciar a saúde do hospedeiro (Lilly, 1965; Sarao, Arora, 2017). O conceito de probiótico surgiu no início do século XX, através de estudos de Elie Metchnikoff, cientista russo ganhador do Prêmio Nobel em 1908 (Mackowiak, 2013). Metchnikoff teorizou que era possível aprimorar a saúde humana por meio da manipulação do microbioma intestinal. O cientista acreditava que a interação das bactérias amigáveis presentes no iogurte poderia melhorar a saúde humana através do alívio e prevenção de distúrbios intestinais, retardo do início da senilidade e infecções (Mackowiak, 2013; Sarao, Arora, 2017).

Este pioneirismo estabeleceu os fundamentos para a aceitação atual dos probióticos como agentes terapêuticos e promotores de saúde. Dessa forma, é visto que os

probióticos, constituídos por microrganismos vivos como bactérias e leveduras, exercem efeitos benéficos na saúde do hospedeiro, ao promover o equilíbrio da microbiota intestinal (Menezes *et al.*, 2013). Essa microbiota, formada pela interação da alimentação, medicamentos e ambiente, é fundamental para a homeostase do corpo e suas funcionalidades metabólicas (Gentile *et al.*, 2022).

Com o passar dos anos, as pesquisas foram refinadas, concentrando-se no uso isolado de microrganismos como probióticos. No entanto, desafios ainda são encontrados na literatura, como a dificuldade de sobrevivência dessas bactérias em altas temperaturas, condição comum no processamento de alimentos (Sarao, Arora, 2017; Centurion *et al.*, 2021).

A caracterização desses microrganismos exige segurança para o consumo, com capacidade de sobreviver e crescer no ambiente intestinal, resistência aos sais biliares e ao pH fisiológico humano, além de aderir ao epitélio intestinal e permanecer viáveis durante o armazenamento (Sarao, Arora, 2017).

Os probióticos possuem atributos extrínsecos, associados à fermentação de alimentos e sua preservação, e atributos intrínsecos, relacionados aos benefícios à saúde do consumidor (Viana *et al.*, 2021). A viabilidade desses microrganismos é crucial para sua eficácia, e sua capacidade de resistir a diversas condições é um desafio que demanda estratégias para melhorar e proteger essas cepas (Centurion *et al.*, 2021).

Os microrganismos demandam de um crescimento nos alimentos aos quais serão inseridos, assim como no trato gastrointestinal, para que permaneçam viáveis para atuar no sistema imunológico. Sua estabilidade é necessária para que estimulem o combate aos microrganismos patogênicos, com consequente indução ao crescimento de mais probióticos com função de combater as bactérias maléficas (RAZAVI *et al.*, 2021). Além disso, podem beneficiar o equilíbrio da microbiota intestinal, com maior susceptibilidade ao controle de infecções intestinais e regulação do sistema imunológico. Os probióticos possibilitam maior absorção de nutrientes, uma vez que contribuem para a digestão do dissacarídeo lactose em pessoas intolerantes à lactose (Centurion *et al.*, 2021; Sarao, Arora, 2017).

Os probióticos mais utilizados são as bactérias lácticas, a exemplo dos *Lactobacillus*, que podem ser incorporadas em matrizes alimentares lácteas fermentadas ou como suplementação (Calaça *et al.*, 2017; Sarao, Arora, 2017). É

importante salientar que, para gerar benefícios à saúde de quem os consome, esses microrganismos demandam que uma quantidade com concentração de 10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por grama do produto seja entregue ao intestino (Terpou *et al.*, 2019).

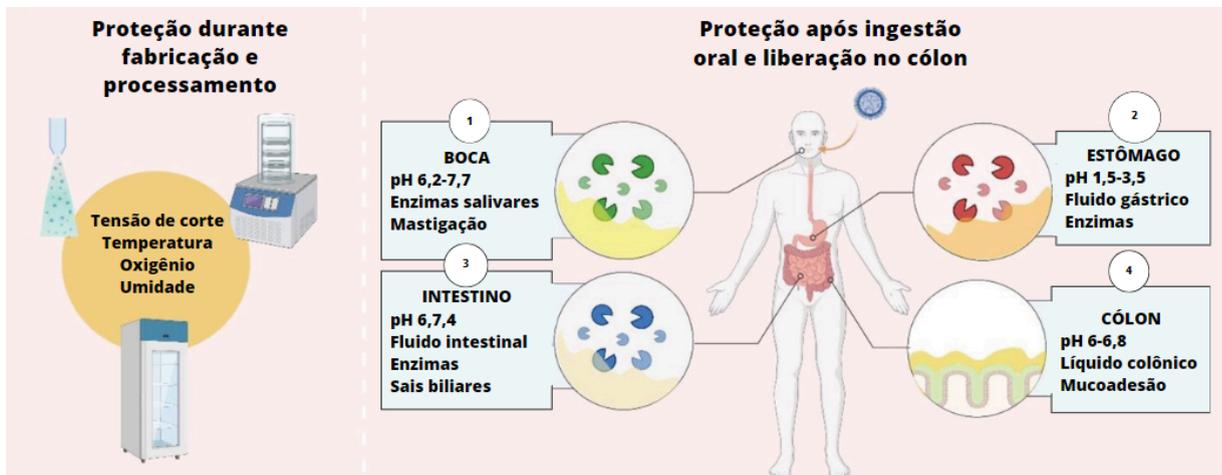
A eficácia desses produtos probióticos está relacionada diretamente com a viabilidade dos microrganismos. Eles devem apresentar a capacidade de sobrevivência mesmo após o processamento, armazenamento, vida de prateleira, possíveis alterações de temperatura e pH do alimento ao qual poderá ser incorporado. Além disso, os microrganismos probióticos devem demonstrar a habilidade de se multiplicar no hospedeiro. Esse requisito acaba por se tornar um desafio, exigindo uma tática de melhoria e proteção dessas cepas (Centurion *et al.*, 2021).

Para garantir a segurança e os benefícios no consumo de probióticos, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu diretrizes para sua avaliação em alimentos, ressaltando a tolerância a estresses, adesão ao tecido epitelial e atividade anti-patogênica (De Melo Pereira *et al.*, 2018). A fiscalização no Brasil é realizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Lago, 2013).

Embora o trato gastrointestinal seja o principal alvo de ação de probióticos, é importante ressaltar que a ingestão desses microrganismos está associada a outros benefícios, incluindo potenciais efeitos positivos na saúde da pele. As cepas probióticas possuem a capacidade de conter inflamações e melhorar a absorção dos nutrientes de um modo geral, prevenindo distúrbios dermatológicos, no trato urinário e também na boca (Vandenplas *et al.*, 2015; Wieërs *et al.*, 2020). Além disso, a literatura relata a existência de relação desses microrganismos com a ligação do intestino com o cérebro, explicando que distúrbios neurológicos, como transtornos relacionados ao humor, podem ser decorrentes de alterações intestinais (Terpou *et al.*, 2019).

A incorporação de bactérias probióticas em alimentos configura um desafio para a área tecnológica, visto que esses microrganismos são mais sensíveis em relação à temperatura, presentes no processo de fabricação. Além disso, dentro do organismo humano também encontra empecilhos, como ambiente ácido e enzimas presentes no estômago e sais biliares, apresentados na Figura 1 (Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021).

Figura 1- Esquema com fatores que afetam a viabilidade de probióticos.



Fonte: Talebian *et al.*, 2022 (adaptado pela autora).

Estudo de viabilidade de probióticos livres apresentou taxas de sobrevivência de 7 a 30% no trato gastrointestinal, além do prazo de validade de aproximadamente 2 semanas em produtos lácteos fermentados, ambos sendo considerados valores baixos (Talebian *et al.*, 2022). Devido às dificuldades já mencionadas, estratégias são necessárias para preservar essa viabilidade. Através da encapsulação é possível estender a vida útil para 6 meses e o aumento da viabilidade durante a passagem pelo trato gastrointestinal para um valor maior que 90% (Razavi *et al.*, 2021). Os entraves encontrados para a utilização de bactérias probióticas nas matrizes alimentares são a alteração nas questões sensoriais, tornando o sabor e aroma diferente dos alimentos tradicionais, podendo haver rejeição no consumo. Isso pode ser derivado da produção de ácidos orgânicos em etapas finais de elaboração do produto ou durante seu armazenamento (Terpou *et al.*, 2019).

2.3 LACTICASEIBACILLUS spp.

É formado por bactérias Gram positivas não esporuladas e anaeróbias facultativas, possuindo 183 espécies, sendo elas resistentes ao conteúdo gastrointestinal (De Melo Pereira *et al.*, 2018; Du *et al.*, 2022). O seu crescimento tem condições ótimas a 30-40°C e pH ideal de 6,5, favorecendo a produção de ácido láctico através da fermentação dos carboidratos, uma vez que esse gênero faz parte do grupo de bactérias fermentadoras lácticas (Terpou *et al.*, 2019; Du *et al.*, 2022). Os *Lacticaseibacillus* spp. colonizam naturalmente o trato gastrointestinal dos humanos, sendo parte da microbiota do intestino delgado (Sarao, Arora, 2017).

Além disso, as cepas dessa bactéria são bastante utilizadas na produção de bebidas lácteas fermentadas e queijos (Morales, Ruiz, 2016).

As cepas deste microrganismo possuem propriedades consideradas benéficas para a saúde gastrointestinal humana. Benefícios esses que proporcionam a melhora de infecções, inflamações e desregulações intestinais, além de serem consideradas como seguras e serem regulamentadas para consumo humano. *Lactocaseibacillus* possuem uma conhecida funcionalidade de imunomodulação, contribuindo para melhora de desequilíbrio no microbioma do trato gastrointestinal (TALIB *et al.*, 2019).

A imunomodulação ocorre devido à interação dos microrganismos com a camada de células epiteliais do organismo humano, formando uma barreira protetora, visto que o trato intestinal integra o sistema imune. Além disso, há comprovações quanto à melhora do sistema respiratório, podendo amenizar sintomas e agindo contra infecções virais e também bacterianas (Du *et al.*, 2022).

Diante do contexto das infecções virais, a atuação dos probióticos durante a mais recente pandemia de COVID-19 foi objeto de estudo. Uma revisão sistemática da Cochrane, publicada em 2023, envolvendo 6.950 participantes de diversas faixas etárias, destacou a eficácia da utilização de uma ou duas cepas probióticas, como *Lactocaseibacillus plantarum* e *Lactocaseibacillus paracasei*, por mais de três meses (Carro, 2023). Os resultados apontaram uma redução significativa no número de infecções respiratórias, na duração média dessas infecções e na necessidade de prescrição de antibióticos. Este achado ressalta o papel promissor dos probióticos no enfrentamento de infecções respiratórias, inclusive no contexto da pandemia de COVID-19 (Xavier-Santos *et al.*, 2022).

Além de suas conhecidas ações anti-inflamatórias, modulação imunológica e influência no microbioma, os probióticos têm a capacidade de inibir a ligação do SARS-CoV-2 ao seu receptor através de bacteriocinas (Veterini *et al.*, 2022). Essas substâncias são peptídeos ou proteínas antimicrobianas produzidas por bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, frequentemente presentes em alimentos fermentados e atualmente objeto de estudo como possíveis aditivos alimentares e agentes terapêuticos antimicrobianos. Esses resultados enfatizam ainda mais o potencial positivo dos probióticos na prevenção e tratamento de infecções respiratórias (Brahma; Naik; Lordan, 2022).

A utilização dos *Lacticaseibacillus* para promoção e recuperação da saúde é antiga. Entretanto, de acordo com a Gerência Geral de Alimentos de 2021, ocorreu uma mudança taxonômica em algumas espécies. A ANVISA não exige uma atualização imediata da nomenclatura, deixando a critério das empresas decidir se realizaram ou não a atualização. Por isso, ambas as nomenclaturas são reconhecidas pela agência (ANVISA, 2021). As espécies de bactérias utilizadas como probióticos aceitas para consumo segundo a Instrução Normativa da ANVISA são *Lactobacillus acidophilus*, *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Lactobacillus gasseri*, *Limosilactobacillus reuteri*, *Lactobacillus helveticus*, *Lacticaseibacillus paracasei*, *Bifidobacterium animalis*, *Bifidobacterium lactis*, *Bifidobacterium longum* (ANVISA, 2020).

2.3.1 *Lactobacillus acidophilus*

O *L. acidophilus* foi isolado no ano de 1900 para ser estudado por pesquisadores a partir das fezes de uma criança (Hanson, Mocquot, 1970). Possui sensibilidade ao pH baixo (6,5-7), entre 2 a 10 µm de tamanho, sendo Gram-positiva, não esporulante e é caracterizado como heterofermentativo e anaeróbio. A sua temperatura ótima para crescimento é de 37°C, podendo metabolizar diferentes carboidratos, a exemplo da glicose, frutose, lactose e também a galactose. Apresenta 30 diferentes cepas, algumas destas sendo utilizadas em alimentos lácteos (Anjum, 2014; De Melo Pereira *et al.*, 2018; Terpou *et al.*, 2019).

Por meio da análise das vias biossintéticas inscritas em seu genoma, emergiu a constatação de que o *Lactobacillus acidophilus*, substancialmente, exibe características auxotróficas, denotando, portanto, sua incapacidade intrínseca de conduzir a síntese ou produção autônoma de determinados compostos e nutrientes fundamentais para seu crescimento. As imposições decorrentes dessas limitações em seu metabolismo anabólico se refletem na demanda de cultivo em ambientes enriquecidos com nutrientes (Gao, 2022; Bull *et al.*, 2013).

O ambiente mais propício para o desenvolvimento do *L. acidophilus* é o trato gastrointestinal, que não possui uma localização clara, podendo integrar até 2% do cólon humano (Bull *et al.*, 2013). O crescimento da espécie *L. acidophilus* exibe capacidade de sobrevivência em condições nas quais outras bactérias do ácido láctico podem não prosperar, devido à sua maior resistência a ácidos e sais biliares. Esta bactéria exibe notável capacidade de proliferação no ambiente gastrointestinal, caracterizado por condições potencialmente hostis, o que poderia

desafiar sua sobrevivência. No entanto, demonstra uma notável afinidade pela adesão ao cólon humano. Essa capacidade de resistir a tais condições adversas, confere-lhe propriedades altamente vantajosas e desejáveis como um potencial probiótico (Gao, 2022).

Está presente no trato gastrointestinal dos humanos naturalmente, oferecendo proteção contra microrganismos patogênicos, controlando quadros de diarreia e atenuando inflamações intestinais. Há indícios que implicam em uma diminuição concreta no quadro de distensão abdominal resultante de transtornos intestinais, além da mitigação dos sintomas associados a afecções gripais em crianças (Kang *et al.*, 2022).

Tais observações, por sua vez, podem ser atribuídas ao estímulo da proliferação de microrganismos benéficos, delineando assim uma engrenagem de defesas naturais que o hospedeiro dispõe. Este sistema se consolida como uma estratégia de enfrentamento eficaz, inibindo assim, a proliferação de microrganismos prejudiciais no ambiente intestinal. Além disso, esta espécie produz lactase, acabando por reduzir os efeitos adversos em quem possui intolerância à lactose, fazendo com que a digestão de alimentos lácteos contendo lactose seja possível (Menezes *et al.*, 2019).

Estudo *in vivo*, associado à alimentação com cápsulas probióticas, foi realizado examinando *L. acidophilus* nas fezes humanas, onde 25% dos indivíduos continham *L. acidophilus* nas fezes antes da introdução da alimentação probiótica, demonstrando assim que o transporte fecal não é comum nos humanos. Graças aos alimentos probióticos ricos em 10^9 UFC/g por dia, 80% dos voluntários do estudo tinham esse microrganismos em suas fezes após o consumo da alimentação proposta, sendo 3 de 12 pessoas com a presença de níveis de até 10^7 UFC/g (Bull *et al.*, 2013).

Esta espécie é capaz de modular a microbiota intestinal reduzindo o pH e produzindo metabólitos. Bactérias intestinais nocivas são consideradas neutras em relação ao pH e podem produzir enzimas catalisadoras de células cancerígenas. Assim, *L. acidophilus* atua reduzindo a produção dessas enzimas e inibindo o crescimento de patógenos. Além disso, essa bactéria tem a capacidade de absorver o colesterol, resultando na redução dos seus níveis séricos (Gao, 2022).

2.3.2 *Lactocaseibacillus rhamnosus*

As cepas desta espécie são utilizadas como probióticos, tendo sido, inicialmente,

isoladas amostras de fezes de um ser humano adulto, sendo identificado como um potencial probiótico por apresentar resistência aos sais biliares, além de possuir a capacidade de crescimento, que faz com que sobreviva às condições intestinais (Mathipa-Mdakane, Thantsha, 2022).

Sua capacidade adesiva foi demonstrada em estudo devido aos seus apêndices e à produção de proteínas solúveis que aumentam sua habilidade de aderir ao epitélio intestinal e formar um biofilme protetor na mucosa. No entanto, esta espécie é sensível a antibióticos, especialmente penicilina, por essa razão sua eficácia como probiótico é limitada quando a antibioticoterapia é prescrita. Tem efeitos relacionados ao tratamento e prevenção de distúrbios do trato digestivo (Mantegazza *et al.*, 2018).

Estudo focado na resistência à acidez gástrica e adesão ao meio intestinal de *L. rhamnosus* mostrou como ocorre a proteção da barreira intestinal, aliviando sintomas diarréicos em indivíduos com síndrome do intestino irritável. No entanto, o desempenho dos probióticos apresenta desafios, sobretudo relacionados à biodisponibilidade e biossegurança mediante ao uso a longo prazo, levando à necessidade de abranger métodos que auxiliem o uso de probióticos perante essas dificuldades (Zhou *et al.*, 2022).

2.3.3 *Lactobacillus gasseri*

A cepa probiótica destaca-se pelos seus benefícios à saúde, principalmente no âmbito do trato gastrointestinal (Chu *et al.*, 2023). Estudos revelam que essa cepa pode ser uma opção de tratamento alternativo para diarreia causada por *Escherichia coli*, sendo capaz de ativar macrófagos no peritônio. Além disso, *L. gasseri* promove alterações benéficas nos metabólitos, como os ácidos graxos de cadeia curta, proporcionando alívio em casos de diarreia (Jia *et al.*, 2024).

A capacidade de adesão e adesão competitiva de *L. gasseri* destaca-se na erradicação de bactérias patogênicas, prevenindo a sua colonização no trato gastrointestinal. Esses atributos tornam essa cepa promissora para a modulação da microbiota intestinal e o controle de distúrbios gastrointestinais (Chen *et al.*, 2023). *L. gasseri* desempenha um papel crucial na manutenção da homeostase da mucosa, promovendo diversos benefícios à saúde. Esta cepa probiótica não apenas contribui para a modulação intestinal, mas também exibe atividades que fortalecem a barreira mucosa e estimulam respostas benéficas no sistema imunológico e no metabolismo (Jia *et al.*, 2024).

A contribuição essencial de *L. gasseri* para a manutenção da homeostase da mucosa está intrinsecamente ligada à modulação intestinal. Ao estimular a produção de mucinas, que compõem a camada mucosa protetora, essa cepa cria uma defesa robusta (Wang *et al.*, 2023). A presença dessas mucinas previne a invasão de patógenos e evita a entrada de substâncias prejudiciais no trato gastrointestinal. Essas mucinas são proteínas complexas e glicosiladas que desempenham um papel fundamental na formação do muco, caracterizadas por suas extensas cadeias de carboidratos ligadas a proteínas (Jia *et al.*, 2024).

Além disso, ao colonizar a mucosa, *L. gasseri* estabelece uma competição ativa por espaço e nutrientes com bactérias patogênicas (Wu *et al.*, 2023). Esse processo não só limita a aderência dessas bactérias nocivas, prevenindo infecções, mas também contribui para a redução de inflamações no ambiente intestinal. *L. gasseri* exerce um impacto positivo no metabolismo lipídico, apoiando a saúde cardiovascular, emergindo como um aliado multifacetado na promoção da saúde gastrointestinal (Wang *et al.*, 2023).

2.3.4 *Lactobacillus helveticus*

Bactéria Gram-positiva em forma de bastonete, comumente encontrada em leite e produtos lácteos fermentados, é caracterizada como homofermentativa, termofílica e não formadora de esporos, com uma temperatura ideal de crescimento de 42°C. Essa cepa desempenha um papel crucial na produção de queijos duros suíços e italianos envelhecidos, além de contribuir para o aprimoramento de sabores em bebidas fermentadas (Zhang *et al.*, 2024; Guron *et al.*, 2023).

Além das suas notáveis contribuições sensoriais em produtos fermentados, *L. helveticus* também exibe benefícios para a saúde intestinal e função imunológica, quando empregada como probiótico. A adaptação desta bactéria a diferentes ambientes é fundamental, influenciando diretamente suas características, uma vez que a capacidade de sobrevivência e crescimento das cepas de *L. helveticus* está intrinsecamente ligada ao ambiente em que estão inseridas (Zhang *et al.*, 2024).

Lactobacillus helveticus destaca-se por apresentar a mais alta atividade proteolítica e inibição da enzima conversora de angiotensina, características atribuídas a genes específicos presentes em seu genoma. A presença de homólogos do gene CEP prtH em diversas cepas de *L. helveticus* contribui para suas distintas atividades metabólicas. Algumas cepas dessa bactéria também demonstram potencial para reduzir a pressão arterial em pacientes hipertensos. A seleção

criterosa de cepas é crucial, uma vez que influencia diretamente nas propriedades finais do produto, como acidez e crescimento (Guron *et al.*, 2023).

2.3.5 *Lacticaseibacillus paracasei*

Essa espécie é considerada importante por promover ações antiinflamatórias, regulando a função intestinal (Ye *et al.*, 2021). Comumente encontrada no trato gastrointestinal dos mamíferos e também presentes em alguns alimentos fermentados. Tem sido amplamente utilizados para aprimorar o sensorial dos produtos lácteos, embora estudos relacionados a esse tema ainda sejam limitados relacionados à sua utilização como probióticos (Sornsenee *et al.*, 2022).

L. paracasei demonstra a habilidade de operar como probiótico e gerar compostos antimicrobianos, conforme observado em isolados de fezes de recém nascidos. Ademais, tem potencial para sobreviver em ambientes com pH ácido e elevada tolerância a níveis altos de bile. Seus benefícios abrangem a terapia para tratar a hipertensão e altas taxas de colesterol sanguíneas (Pimentel *et al.* 2015). Isto ocorre devido ao estímulo da produção de substâncias capazes de causar a síntese de colesterol e de metabólitos que serão absorvidos, resultando na regulação da pressão arterial. Também atua na prevenção de lesões na mucosa gástrica, assim atenuando alergias (Sornsenee *et al.*, 2022; Pimentel *et al.* 2015).

Para que ocorra a união dos probióticos em matrizes alimentares, é importante que as características sensoriais sejam adequadas para melhor aceitação, além de manter a qualidade do produto (Talebian *et al.*, 2022). Por essas razões, é necessário implantar estratégias visando a melhora da viabilidade desses microrganismos probióticos visto que existem diversos desafios a serem superados, principalmente aqueles relacionados às condições gastrointestinais hostis (Sbheat, 2022).

2.4 MICROENCAPSULAÇÃO DE PROBIÓTICOS E SUAS APLICAÇÕES

2.4.1 Definição

A microencapsulação é conceituada como um processo em que uma pequena quantidade de um ingrediente ativo é envolvida por uma cápsula com dimensões na ordem micrométrica. Esse procedimento resulta em uma micropartícula, conferindo proteção ao ingrediente ativo de possíveis reações químicas e físicas adversas e preservando-o do ambiente circundante (Razavi *et al.*, 2021).

Para que seja considerada uma micropartícula, é necessário que o seu tamanho seja de 1µm a 1000µm na escala micrométrica, resultando em um revestimento

com camada fina, semipermeável e forte (Viana *et al.*, 2021). Entre os benefícios da microencapsulação estão a proteção do material a ser encapsulado, liberação controlada do material ativo, maior estabilidade e proteção contra as características indesejáveis relacionadas ao sensorial (Pereira *et al.*, 2018).

A classificação da micropartícula inclui duas subdivisões, que seriam a microcápsula, apresentando um sistema de reservatório possuindo um núcleo. Já a microesfera, é desenvolvida como um sistema onde a substância encapsulada pode estar dissolvida ou homogênea, sendo o sistema chamado de matricial. Na microcápsula, o material é completamente envolto pelo material de parede, já na microesfera, o material ativo permanece de forma distribuída internamente (Pereira *et al.*, 2018). Internamente está localizado o que é conhecido como núcleo e membrana para se referir à parte externa (Frakolari *et al.*, 2021).

A microencapsulação emerge como uma alternativa viável a ser utilizada para resguardar os microrganismos probióticos, pois ela auxilia na manutenção da viabilidade celular para passar pelas etapas de processamento até chegar ao destino final, na proteção desses microrganismos contra os estresses ambientais e também das condições hostis presentes no trato gastrointestinal. Sendo assim, a tecnologia de microencapsulação é capaz de garantir que um número adequado de microrganismos viáveis cheguem ao intestino (Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021).

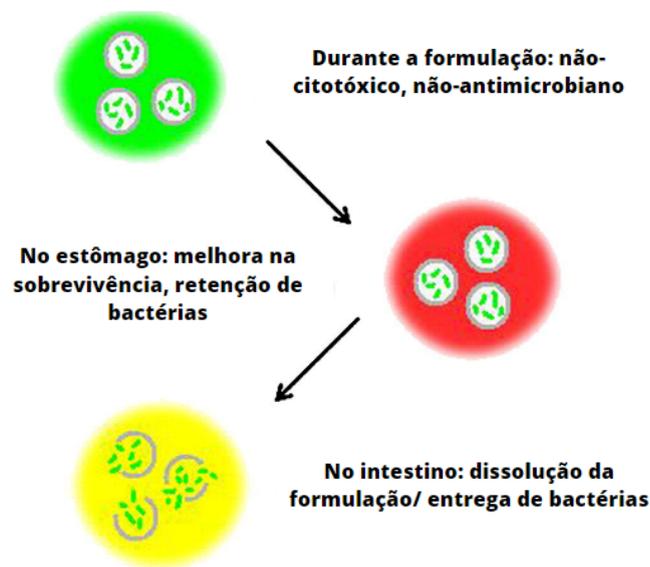
Vista como uma proposta de possibilidade tecnológica, a microencapsulação é relacionada a um processo físico-químico no qual uma camada externa irá envolver uma determinada substância para que haja a melhora da camada externa irá envolver determinada substância ou organismo, protegendo-os e tornando sua ação mais efetiva (Sbehat, Mauriello, Altamimi, 2022). A camada que vai envolver o material ativo, ou seja, o material de parede, pode ser composta por diferentes materiais, cuja correta seleção beneficia diretamente a eficiência da microencapsulação, tornando-a estável (Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021).

A partir das diferentes técnicas de microencapsulação, as características das micropartículas serão distintas, obtendo variadas formas e tamanhos disponíveis para escolha no momento de aderir às matrizes alimentares, alcançando as características que podem ser consideradas agradáveis ao consumidor e que possa ter também uma vida longa na prateleira (Orhan *et al.*, 2016).

A microencapsulação é um método que vem sendo bastante utilizado nas últimas

décadas, por essa razão, sua tecnologia se mostra como um processo vantajoso, criando um envelope no material encapsulado, tornando o material mais protegido contra situações adversas, quando comparado a outros materiais não encapsulados. O microrganismo encapsulado se mantém protegido e envolto pelo material encapsulante perpassando pelo estômago até chegar ao intestino, onde há a sua dissolução, entregando as bactérias como mostra na **Figura 2** (Zhang *et al.*, 2022).

Figura 2. Esquema apresentando bactérias encapsuladas.



Fonte: Cook *et al.*, 2012 (adaptado pela autora).

É imprescindível que os números adequados de bactérias probióticas viáveis alcancem o trato gastrointestinal para que surta o efeito terapêutico desejado, beneficiando a saúde do indivíduo (Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021). Para microencapsular é importante assegurar que as bactérias estejam bem protegidas por estarem envoltas sob a camada de micropartículas. Sua eficiência pode ser estabelecida através da porcentagem da substância que se encontra no centro em relação ao peso integral (Orhan *et al.*, 2016).

A eficiência de encapsulação se dá pela taxa de encapsulação. Esta métrica apresenta informações sobre a capacidade e a quantidade do microrganismo a ser encapsulado nas microcápsulas. É importante destacar que a taxa de encapsulação reside na sua capacidade de fornecer uma avaliação quantitativa da eficiência da técnica de encapsulação. Essa informação determina a influência do

processo, o grau de proteção conferido ao microrganismo durante a encapsulação e, conseqüentemente, a capacidade de entrega do produto final (Parsana *et al.*, 2023).

Apesar de oferecer vantagens notáveis, seu emprego enfrenta obstáculos. Portanto, é interessante examinar as desvantagens e determinar se estas são compensadas pelos benefícios inerentes. A depender da técnica escolhida, alguns compostos podem não sobreviver por serem considerados sensíveis e não render a quantidade estimada. O material de parede também pode apresentar seus entraves, já que sua solubilidade pode interferir em técnicas como *Spray drying*, gastando mais tempo para a produção e não entregar o resultado esperado (Ozhan *et al.*, 2019). A avaliação desses fatores é essencial para uma implementação economicamente viável da microencapsulação.

São encontradas diferentes técnicas para microencapsular, o que vai acarretar na escolha é o objetivo final a ser alcançado, pois cada técnica vai atingir uma característica em específico, sendo esse aspecto responsável pela sua finalidade. O resultado disso são os diferentes formatos que podem ser encontrados ao final do processo (Silva *et al.*, 2022).

2.4.2 Técnicas de microencapsulação de probióticos

Existem várias técnicas de microencapsulação de probióticos, dentre as técnicas indicadas, se destacam a emulsão, *spray-drying*, *spray-chilling*, leite fluidizado, extrusão e a coaservação (Silva *et al.*, 2022).

Na técnica de emulsão, a substância a ser encapsulada passa por um processo de formação de emulsão, no qual o solvente é agitado até evaporar, com isso há a precipitação do material ativo que será encoberto pela cápsula (Zhang, *et al.*, 2022; Ribeiro, Veloso, 2021). Essa técnica ocorre quando o composto ativo e o polímero se evapora no solvente, posteriormente ocorrendo a emulsificação e com isso uma divisão do solvente da emulsão, resultado da solubilização (Da Rosa; Nogueira; Deretti, 2021).

O método denominado *spray-drying* ocorre com a finalidade de modificar os materiais líquidos em materiais secos, sendo um método bastante efetivo para evitar a degradação que pode ocorrer quando o produto se encontra no ambiente livremente (Ribeiro; Veloso, 2021; Ilic *et al.*, 2009). A substância a ser envolvida fica dispersa em uma solução que vai perpassar por uma corrente de ar quente, causando a evaporação do solvente, formando as partículas secas. Por apresentar

poucas etapas, este método acaba sendo considerada simples e rápida, eliminando a etapa de descarte dos resíduos dos solventes é uma opção vantajosa, já a sua desvantagem é apontada em relação à utilização do calor, que pode ser nocivo, a depender do polímero selecionado e do princípio ativo que pode não resistir à altas temperaturas (Silva *et al.*, 2022).

O *spray chilling* é considerado um método de baixo custo que não necessita de altas temperaturas, fazendo com que as bactérias probióticas sejam colocadas em um meio com elementos hidrofóbicos e através do resfriamento desse spray a qual é submetido, as partículas se solidificam, resultando na proteção dos probióticos. Como resultado, haverá a formação de microcápsulas ou microesferas, o resultado está atrelado à influência da concentração do polímero, velocidade e temperatura da técnica (Günel *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2003).

O *spray chilling* pode ser considerado um método adaptado do spray drying. Para o resfriamento, são divididas duas etapas. A primeira seria encapsular o microrganismo em material hidrofóbico e a segunda etapa seria a pulverização da mistura em formato de gotas, logo após, o resultado dessas etapas passam por um ambiente com ar frio, solidificando o material (De Abreu Figueiredo *et al.*, 2021; Cutrim, Alvim, Cortez, 2019).

Na técnica de extrusão, há a formação de um filme que entra em contato com um íon com o intuito de imobilizar o núcleo que se encontra em forma líquida. Para isso, é realizado um processo com etapas de mistura, cozimento, amassamento, corte e modelagem, onde é submetido à alta pressão e temperatura, construindo as micropartículas (Favaro-Trindade *et al.*, 2020; Ribeiro, Veloso, 2021). Embora a técnica apresente vantagens em termos de baixo custo e simplicidade por ser pouco nociva aos microorganismos, ela é considerada lenta e isso pode afetar negativamente a produção em larga escala (Silva, 2021).

Com a utilização da técnica de leite fluidizado, a substância presente no núcleo é colocada em suspensão que forma esse leite, submetendo o material à nebulização para que ocorra o processo de recobrimento (Ribeiro, Veloso, 2021).

Na coacervação, será obtido uma solução retendo a molécula dispersa, havendo duas etapas líquidas. Na primeira haverá uma concentração maior e na segunda etapa uma concentração menor, gerando um equilíbrio. Dentro da coacervação há uma subdivisão entre coacervação simples, sucedendo apenas uma molécula e na

coacervação complexa tem que haver um valor igual ou maior que duas moléculas (Favaro-Trindade *et al.*, 2020). Essa técnica é considerada complexa, por suas etapas necessitarem de uma vigilância e controle rigoroso, já que suas partículas podem se aglomerar, além do alto custo e a necessidade de descartar os solventes. Porém, sua vantagem consiste no resultado final de alto rendimento quando encapsula produtos hidrossolúveis (Silva *et al.*, 2003).

Diversos produtos alimentícios com adição de probióticos estão disponíveis no mercado com a função de auxílio na melhora da saúde, porém não compreendem a sobrevivência necessária em determinados alimentos, a exemplo de alguns leites fermentados (Orhan *et al.*, 2016).

2.4.3 Aplicação de microrganismos probióticos microencapsulados em alimentos

A indústria alimentícia vem focando na microencapsulação como uma alternativa para proteção desses microrganismos com o objetivo da manutenção da estabilidade, viabilidade e da qualidade. Assim, pode-se prolongar a vida útil do alimento enriquecido com o probiótico, aumentando a efetividade da sua ação (Song *et al.*, 2022). Comumente são utilizadas as espécies de bactérias lácticas para inserção em matrizes alimentares fermentadas. Porém, há uma necessidade de ampliar as opções a outros tipos de alimentos funcionais para que haja uma maior gama disponível para obtenção e consumo (De Melo Pereira *et al.*, 2018).

Comumente utilizados em alimentos lácteos, os probióticos são inseridos em iogurtes fermentados, queijo, bebidas lácteas. Essa aplicação não se deve apenas aos benefícios que pode proporcionar, mas principalmente pelo estágio de fermentação que é valorizado por essas bactérias e pelas particularidades encontradas no alimento após a finalização (Frakolari *et al.*, 2021).

O iogurte foi o primeiro produto a ser comercializado com probióticos, podendo ter a adição de probióticos livres ou microencapsulados durante o processo ou na fase final (Sarao, Arora, 2017). Além destes, produtos como queijo podem possuir adição de microrganismos probióticos. O Cheddar, em específico, é bastante estudado por possuir o pH e nível de gordura adequado para a sobrevivência no conteúdo gástrico. Entretanto, pode não ser viável após o período de armazenamento, por essa razão é indicado o uso de microcápsulas, podendo acarretar na melhora das características sensoriais (Frakolari *et al.*, 2021).

Embora seja mais comum a inclusão de probióticos na utilização de alimentos derivados do leite, vem crescendo o interesse em pesquisas com outros tipos de

alimentos, a exemplo de matrizes de origem vegetal como sucos, extratos hidrossolúveis a base de vegetais como amêndoa, coco, grão de bico, aveia, arroz e soja, entre outros. Tem-se como base o interesse do consumidor, potencialmente aqueles com diagnóstico de intolerância à lactose, vegetarianos, veganos (Sarao, Arora, 2017).

Apesar dos sucos proporcionarem a sobrevivência dos microrganismos, provando ser um bom meio de alimento funcional, mesmo tendo como aliado a microencapsulação como proteção, também se faz necessária a aceitação sensorial dos consumidores (Frakolari *et al*, 2021). Em estudo que compara a questão sensorial, foi visto que a adição de grânulos de probióticos dificultaram a deglutição, além de comprovar que os sucos que possuem o material encapsulado são mais estáveis quando comparados aos sucos com os microrganismos livres (Sarao, Arora, 2017). Neste sentido, a microencapsulação pode ser uma alternativa viável para encapsulação dos microrganismos utilizados como probióticos.

É imprescindível que os alimentos selecionados para o aporte de probióticos sejam aqueles que conferem proteção a estes microrganismos. Então, sua escolha deve ser feita corretamente. Além disso, a microencapsulação pode auxiliar nessa manutenção da vida útil do produto em questão. Foi visto que essa combinação de alimento adequado e microencapsulação é mais viável em sucos (Orhan *et al*, 2016). A inclusão dos microrganismos em matrizes alimentares se mostra como uma forma mais simples de enriquecer a dieta dos indivíduos, despertando nas empresas o interesse em inovar. Assim, observa-se uma competição entre elas para produzir novos produtos com substâncias bioativas, levando variedade aos consumidores (Raddatz, Menezes, 2021).

3 HIPÓTESE

A microencapsulação é eficaz para a melhora da viabilidade dos *Lacticaseibacillus* em alimentos lácteos.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma revisão sistemática da literatura de estudos relacionados à eficácia da microencapsulação de *Lacticaseibacillus* em alimentos lácteos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar levantamento dos artigos publicados recentemente sobre a microencapsulação de *Lacticaseibacillus*;
- Identificar as principais formas de microencapsulação de *Lacticaseibacillus* e suas espécies;
- Apresentar e discutir as vantagens e desvantagens da microencapsulação de *Lacticaseibacillus* como probiótico.

5 METODOLOGIA

Foi realizada uma busca sistemática com atualizações sobre o gênero *Lacticaseibacillus* e a microencapsulação na área de alimentos através da análise de artigos produzidos. Os métodos são descritos com a intenção de aumentar a fidedignidade dos resultados obtidos, os quais foram apresentados em tabelas para posterior análise e discussão. Esta pesquisa foi submetida à plataforma Open Science Framework que cataloga as revisões em andamento, onde um identificador foi alocado para fins de referência e também evitar duplicidade de pesquisas. O código de identificação, também conhecido como DOI, é registrado como 10.17605/OSF.IO/SXT3B.

Estratégia de busca

A revisão sistemática realizada aderiu às diretrizes metodológicas estabelecidas pelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), garantindo uma boa abordagem metodológica. Para a busca abrangente de informações relevantes, foram utilizadas bases de dados, incluindo Scopus, Pubmed, Scielo e Lilacs. Adicionalmente, a pesquisa foi complementada pela análise das listas de referências dos artigos identificados, visando obter informações suplementares de interesse.

A estratégia de busca implementada nas bases de dados, envolveu a seleção cuidadosa de termos-chave relevantes, como "Lactobacillus", "probiotics", "microencapsulation" e "dairy food". A recente atualização do termo "*Lactobacillus*" para "*Lacticaseibacillus*" trouxe implicações importantes para a pesquisa científica. Durante a condução da busca, a tentativa de inserir o termo atualizado resultou na impossibilidade de realizar a pesquisa, mantendo-se, portanto, o uso do antigo termo. A utilização de operador booleano "AND" permitiu a interseção desses termos, a fim de recuperar os estudos que abordassem simultaneamente essas temáticas. Para garantir maior precisão e relevância nos resultados, foi aplicado um filtro para incluir artigos de revisão e pesquisas.

Por meio dessa abordagem metodológica, foi possível compilar uma variedade de estudos pertinentes, fornecendo uma base científica para a análise e a síntese das informações relacionadas aos *Lacticaseibacillus*, probióticos, microencapsulação e alimentos lácteos. O rigor e a abrangência da estratégia de busca asseguram a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento nessa área de pesquisa.

A busca nas bases de dados foi realizada mediante a utilização de termos previamente citados, em conformidade com as estratégias de pesquisa estabelecidas, onde foram captados todos os estudos relacionados ao tema através da leitura do título seguido da leitura dos resumos. Subsequentemente, com o propósito de refinar a pesquisa em busca do objetivo, a triagem filtrou artigos científicos com informações relevantes acerca de aspectos da viabilidade e eficácia sobre a microencapsulação de probióticos na área de alimentos nos idiomas citados posteriormente (MELO, 2021).

Crítérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão adotados para esta revisão sistemática compreendem artigos publicados nos últimos cinco anos, abrangendo o período de 2018 a 2023, nos idiomas inglês, espanhol e português. A seleção dos estudos para inclusão envolveu uma análise daqueles que apresentavam dados acerca dos *Lactocaseibacillus* microencapsulados. Essa abordagem visa garantir a incorporação de estudos atualizados e relevantes para o escopo da pesquisa, com o intuito de fornecer uma análise consistente e abrangente sobre o tema.

Para manter a qualidade e a precisão da revisão, foram estabelecidos critérios de exclusão específicos. Dessa forma, foram excluídos artigos repetidos, capítulos de livros, cartas ao editor, resumos de conferência, resenhas e artigos que abordassem outros gêneros de microrganismos microencapsulados que não fossem do gênero *Lactocaseibacillus*. Essa abordagem visa maior precisão da investigação sobre os *Lactocaseibacillus* microencapsulados, evitando inclusões não pertinentes ao escopo do estudo.

Seleção de artigos

Inicialmente, foi conduzida uma análise dos títulos e resumos dos estudos obtidos, visando identificar e remover quaisquer duplicações. Em seguida, os artigos selecionados passaram por uma leitura minuciosa, excluindo aqueles que não se alinhavam aos objetivos da presente pesquisa.

Com o intuito de sistematizar as informações obtidas, elaborou-se um quadro contendo dados relevantes, como referência, tipo de alimento, técnica de microencapsulação, taxa de encapsulação, modelo experimental (células, animal, humano) e os principais achados. Essa tabela foi submetida a uma triagem realizada de forma independente por três revisores, os quais aplicaram os mesmos critérios de

inclusão e exclusão previamente estabelecidos (Martínez-González, 2020). As revisoras designadas para colaborar com a pesquisa são Andreza Tallyne de Aguiar Silva e Alessandra Silva Araújo, mestres em Nutrição pela Universidade Federal de Pernambuco, ambas com expertises em revisão sistemática e probióticos, respectivamente. A contribuição das colaboradoras foi fundamental para a avaliação dos aspectos metodológicos, mitigar possíveis erros e garantir a precisão metodológica do estudo.

Avaliação da qualidade de estudos incluídos

Nas análises de revisões sistemáticas, destaca-se a necessidade de avaliar a qualidade dos estudos incorporados no escopo da investigação. Com esse propósito, foi recorrida a ferramenta denominada ARRIVE, em conjunto com as diretrizes da CONSORT, uma vez que a determinação da qualidade de estudos *in vitro* carece de consenso bem definido. Nesse processo, uma lista composta por 12 itens específicos foi utilizada para a análise. Cada critério em cada estudo foi avaliado com base em uma escala de classificação pré definida, culminando em uma avaliação final.

Dado que o estudo em questão faz parte de uma revisão sistemática, a montagem da tabela de classificação foi realizada separadamente pelas duas revisoras. Posteriormente, essas avaliações individuais foram comparadas para verificar a concordância. O resultado da qualidade dos estudos foi, então, consolidado na tabela após garantir que as avaliações dos revisores estivessem alinhadas.

Posteriormente, empregou-se a estatística de Kappa para avaliar o nível de concordância entre ambas as revisoras, utilizando o software estatístico SPSS 22.0. Os resultados foram apresentados em tabelas para posterior discussão e análise. Essas informações foram incluídas no artigo submetido anexado.

6 ARTIGO

Research, Society and Development, v. 12, n. 12, eXX, 2023
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i12.XXXXX>

Microencapsulação de *Lactocaseibacillus*: uma revisão sistemática

Microencapsulation of *Lactocaseibacillus*: a systematic review

Microencapsulación de *Lactocaseibacillus*: una revisión

Recebido: 00/10/2023 | Revisado: 00/11/2023 | Aceitado: 00/11/2023 | Publicado: 00/11/2023

Leticia Olímpia de Santana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4443-4954>
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
E-mail: leticia.olimpia@ufpe.br

Andreza Tallyne de Aguiar Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5182-8353>
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
E-mail: andreza.tallyne@ufpe.br

Alessandra Silva Araujo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0650-4835>
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
E-mail: alessandra.silvaaraujo@ufpe.br

Wellington de Almeida Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0818-5543>
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
E-mail: wellington.almeidaoliveira@ufpe.br

Ana Lisa do Vale Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7067-1481>
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
E-mail: ana.vgomes@ufpe.br

Mariane Cajubá de Britto Lira Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7556-4746>
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
E-mail: mariane.lira@ufpe.br

Resumo

Objetivo: consiste em realizar uma revisão sistemática da literatura, focalizando estudos que abordam a eficácia da microencapsulação de *Lactocaseibacillus* em alimentos lácteos. **Metodologia:** a busca foi conduzida em bases de dados renomadas, como Scopus, Pubmed, Scielo e Lilacs, seguindo as diretrizes metodológicas do PRISMA, com uma inclusão de dados do período entre 2018 e 2023. Ao término da busca, 15 artigos foram selecionados, atendendo aos critérios de elegibilidade estabelecidos. **Resultados:** revelaram uma predileção pela técnica de liofilização na microencapsulação, conferindo estabilidade ao longo do tempo. Os alimentos mais frequentemente estudados incluem whey protein, iogurte e queijo. A taxa de encapsulação, consistentemente superior a 90%, proporcionou insights significativos sobre a eficácia das técnicas empregadas nesse processo. A revisão identificou a necessidade de atualização de termos, como "*Lactocaseibacillus*", destacando a importância de manter a terminologia alinhada com avanços científicos e taxonomia atualizada. **Conclusão:** Destaca-se que uma compreensão mais aprofundada das interações de *Lactocaseibacillus* com a microbiota intestinal pode abrir caminhos para terapias personalizadas, contribuindo assim para a promoção da saúde gastrointestinal e imunológica. A taxa de encapsulação, frequentemente superior a 90%, destaca a eficácia dessa abordagem. Sublinha-se, portanto, que a pesquisa nesse campo é essencial para otimizar o uso dessas bactérias como probióticos, promovendo benefícios significativos para a saúde humana.

Palavras-chave: Alimento funcional; Probióticos; Bactérias; *Lactocaseibacillus*..

Abstract

Objective: consists of carrying out a systematic review of the literature, focusing on studies that address the effectiveness of microencapsulation of *Lactocaseibacillus* in dairy foods. **Methodology:** the search was conducted in renowned databases, such as Scopus, Pubmed, Scielo and Lilacs, following the PRISMA methodological guidelines, with the inclusion of data from the period between 2018 and 2023. At the end of the search, 15 articles were selected, meeting the established eligibility criteria. **Results:** revealed a preference for the freeze-drying technique in microencapsulation, providing stability over time. The most frequently studied foods include whey protein, yogurt and cheese. The encapsulation rate, consistently exceeding 90%, provided significant insights into the effectiveness of the techniques used in this process. The review identified the need to update terms, such as "*Lactocaseibacillus*", highlighting the importance of keeping terminology aligned with scientific advances and updated taxonomy. **Conclusion:** It is highlighted that a deeper understanding of the interactions of *Lactocaseibacillus* with the intestinal microbiota can open avenues for personalized therapies, thus contributing to the promotion of gastrointestinal and immunological health. The encapsulation rate, often exceeding 90%, highlights the

effectiveness of this approach. It is therefore highlighted that research in this field is essential to optimize the use of these bacteria as probiotics, promoting significant benefits for human health.

Keywords: Functional food; Probiotics; Bacteria; *Lactocaseibacillus*.

Resumen

Objetivo: consiste en realizar una revisión sistemática de la literatura, centrándose en estudios que abordan la efectividad de la microencapsulación de *Lactocaseibacillus* en alimentos lácteos. **Metodología:** la búsqueda se realizó en bases de datos de renombre, como Scopus, Pubmed, Scielo y Lilacs, siguiendo los lineamientos metodológicos PRISMA, con la inclusión de datos del periodo comprendido entre 2018 y 2023. Al final de la búsqueda se seleccionaron 15 artículos, cumpliendo con los criterios de elegibilidad establecidos. **Resultados:** revelaron preferencia por la técnica de liofilización en microencapsulación, brindando estabilidad en el tiempo. Los alimentos más estudiados incluyen el proteína de suero, el yogur y el queso. La tasa de encapsulación, que superó constantemente el 90%, proporcionó información importante sobre la eficacia de las técnicas utilizadas en este proceso. La revisión identificó la necesidad de actualizar términos, como "*Lactocaseibacillus*", destacando la importancia de mantener la terminología alineada con los avances científicos y la taxonomía actualizada. **Conclusión:** Se destaca que una comprensión más profunda de las interacciones de *Lactocaseibacillus* con la microbiota intestinal puede abrir vías para terapias personalizadas, contribuyendo así a la promoción de la salud gastrointestinal e inmunológica. La tasa de encapsulación, que a menudo supera el 90%, pone de relieve la eficacia de este enfoque. Por tanto, se destaca que la investigación en este campo es fundamental para optimizar el uso de estas bacterias como probióticos, promoviendo importantes beneficios para la salud humana.

Palabras clave: Alimentos funcionales; Probióticos; Bacterias; *Lactocaseibacillus*.

1. Introdução

Lactocaseibacillus é um gênero de bactéria amplamente empregado na produção de alimentos probióticos, devido às suas propriedades benéficas para a saúde humana, especialmente em relação ao trato gastrointestinal. Essas bactérias não apenas oferecem benefícios significativos, mas também são reconhecidas como seguras para o consumo, sendo sujeitas a regulamentação (Talib *et al.*, 2019). Naturalmente presente em certos alimentos fermentados, o gênero *Lactocaseibacillus* é também disponibilizado em forma de suplementos, sendo incorporado em diversas matrizes alimentares (Frakolari *et al.*, 2020; Sbehat *et al.*, 2022).

Os probióticos são caracterizados como bactérias que conferem benefícios à saúde quando administradas em quantidades apropriadas. Suas vantagens abrangem desde a regulação intestinal até o reforço da imunidade, prevenindo e aliviando sintomas de diversas doenças (Olivares *et al.*, 2017). Para garantir a entrega eficaz desses benefícios aos consumidores, é crucial que esses microrganismos alcancem o trato gastrointestinal em uma forma viável e em quantidades adequadas, ou seja, superiores a 10⁶ UFC/g. Isso se deve ao fato de que os probióticos, em sua forma não encapsulada, são vulneráveis ao estresse ambiental e do trato gastrointestinal (Hayayumi-Valdivia *et al.*, 2021). A quantidade efetiva de microrganismos probióticos que atinge o trato gastrointestinal humano é notavelmente reduzida devido a diversos fatores inerentes à fisiologia humana. Entre esses fatores, destaca-se a influência do pH do trato gastrointestinal na degradação dos alimentos, afetando a sobrevivência dos probióticos. Além disso, a escolha cuidadosa da matriz alimentar que abrigará os probióticos é de suma importância, assim como o armazenamento adequado desses produtos (Sbehat *et al.*, 2022). A composição do alimento desempenha um papel importante na viabilidade dos probióticos, destacando-se a influência significativa de determinados alimentos na criação de um ambiente propício para esses microrganismos. Produtos lácteos, por exemplo, fornecem um pH considerado ideal para as necessidades de sobrevivência dos probióticos (Sbehat *et al.*, 2022). É importante notar que muitos microrganismos probióticos são sensíveis a variações extremas de pH, o que pode comprometer sua viabilidade (Sbehat *et al.*, 2022).

Nesse sentido, a microencapsulação vem sendo descrita como uma alternativa tecnológica eficaz para preservar a integridade dos probióticos diante dos estresses ambientais e das condições adversas encontradas no trato gastrointestinal

(Lopes *et al.*, 2021). Essa abordagem visa assegurar que uma quantidade significativa de microrganismos viáveis alcance o intestino, cumprindo assim sua função de maneira efetiva (Hayami-Valdivia *et al.*, 2021). A microencapsulação oferece a possibilidade de desenvolver novos alimentos funcionais, incorporando compostos bioativos, como os probióticos (Raddatz & Menezes, 2021). Entretanto, é importante realizar uma seleção criteriosa da tecnologia de encapsulação, garantindo que as micropartículas desempenhem adequadamente sua função principal de manter a viabilidade dos probióticos, uma vez que o tamanho e a sobrevivência desses microrganismos variam conforme a tecnologia empregada (Sarao & Arora, 2017).

Apesar das bactérias pertencentes do gênero *Lacticaseibacillus* serem amplamente utilizadas como probióticos e o processo de sua microencapsulação ser cada vez mais frequente, há uma carência relacionada a sistematização dos estudos, ou seja, estudos que congreguem informações relevantes para evidenciar o que há de comprovação das suas vantagens. Neste sentido, a realização de uma revisão sistemática se torna necessária, sendo uma abordagem eficaz para organizar a literatura, proporcionando uma base sólida para orientar futuras investigações científicas. Dessa forma, o objetivo central desta pesquisa é conduzir uma revisão sistemática da literatura, focando nos estudos relacionados à microencapsulação de *Lacticaseibacillus*, especificamente em alimentos lácteos.

2. Metodologia

Uma busca sistemática foi conduzida para atualização de informações sobre o gênero *Lacticaseibacillus* e a prática de microencapsulação na área de alimentos lácteos, por meio da análise crítica de artigos relevantes. A descrição detalhada dos métodos utilizados visa aprimorar a confiabilidade dos resultados obtidos, os quais são apresentados em tabelas para facilitar análise e discussão. Esta pesquisa foi submetida à plataforma Open Science Framework, um repositório que cataloga revisões em andamento. Um identificador exclusivo foi atribuído para referência e para evitar duplicidade de estudos. O código de identificação, conhecido como DOI, está registrado como 10.17605/OSF.IO/SXT3B.

Estratégia de busca

A revisão sistemática realizada aderiu às diretrizes metodológicas estabelecidas pelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), garantindo uma boa abordagem metodológica (Liberati *et al.*, 2009). Para a busca abrangente de informações relevantes, foram utilizadas bases de dados, incluindo Scopus, Pubmed, Scielo e Lilacs. Adicionalmente, a pesquisa foi complementada pela análise das listas de referências dos artigos identificados, visando obter informações suplementares de interesse.

A estratégia de busca implementada nas bases de dados, envolveu a seleção cuidadosa de termos-chave relevantes, como "Lactobacillus", "probiotics", "microencapsulation" e "dairy food". A recente atualização do termo "Lactobacillus" para "Lacticaseibacillus" trouxe implicações importantes para a pesquisa científica. Durante a condução da busca, a tentativa de inserir o termo atualizado resultou na impossibilidade de realizar a pesquisa, mantendo-se, portanto, o uso do antigo termo. A utilização de operadores booleanos "AND" permitiu a interseção desses termos, a fim de recuperar os estudos que abordassem simultaneamente essas temáticas. Para garantir maior precisão e relevância nos resultados, foi aplicado um filtro para incluir artigos de revisão e pesquisas.

Por meio dessa abordagem metodológica foi possível compilar estudos pertinentes, fornecendo uma base científica para a análise e a síntese das informações relacionadas aos *Lacticaseibacillus*, probióticos, microencapsulação e alimentos lácteos. O rigor e a abrangência da estratégia de busca asseguram a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos,

contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento nessa área de pesquisa.

A busca nas bases de dados foi realizada mediante a utilização de termos previamente citados, em conformidade com as estratégias de pesquisa estabelecidas, onde foram captados todos os estudos relacionados ao tema através da leitura do título seguido da leitura dos resumos, posteriormente, com o intuito de afunilar a pesquisa em busca do objetivo, a triagem filtrou artigos científicos com informações relevantes acerca de aspectos da viabilidade e eficácia sobre a microencapsulação de probióticos na área de alimentos nos idiomas citados posteriormente.

Crítérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão adotados para esta revisão sistemática compreendem artigos publicados nos últimos cinco anos, abrangendo o período de 2018 a 2023, nos idiomas inglês e português. A seleção criteriosa dos estudos para inclusão envolveu uma análise minuciosa daqueles que apresentavam dados acerca dos *Lacticaseibacillus* microencapsulados. Essa abordagem visa garantir a incorporação de estudos atualizados e relevantes para o escopo da pesquisa, com o intuito de fornecer uma análise consistente e abrangente sobre o tema.

Para manter a qualidade e a precisão da revisão, foram estabelecidos critérios de exclusão específicos. Dessa forma, foram excluídos artigos repetidos, capítulos de livros, cartas ao editor, resumos de conferência, resenhas e artigos que abordavam outros gêneros de microrganismos microencapsulados que não fossem do gênero *Lacticaseibacillus*. Essa abordagem visa uma maneira mais precisa da investigação sobre os *Lacticaseibacillus* microencapsulados, evitando inclusões não pertinentes ao escopo do estudo.

Seleção de artigos

Inicialmente, foi conduzida uma criteriosa análise dos títulos e resumos dos estudos obtidos, visando identificar e remover quaisquer duplicações. Em seguida, os artigos selecionados passaram por uma leitura minuciosa, excluindo aqueles que não se alinhavam aos objetivos da presente pesquisa.

Com o intuito de sistematizar as informações obtidas, elaborou-se um quadro contendo dados relevantes, como referência, tipo de alimento, técnica de microencapsulação, taxa de encapsulação, modelo experimental (células, animal, humano) e os principais achados. Essa tabela foi submetida a uma triagem realizada de forma independente por dois revisores, os quais aplicaram os mesmos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos (Martinez-González, 2020). Os revisores designados para colaborar com a pesquisa são Andreza Tallyne de Aguiar Silva e Alessandra Silva Araújo, doutorandos em Nutrição pela Universidade Federal de Pernambuco, ambos com expertises em revisão sistemática e probióticos, respectivamente. A contribuição dos colaboradores foi fundamental para a avaliação dos aspectos metodológicos, mitigar possíveis erros e garantir a precisão metodológica do estudo.

A escolha de buscar trabalhos dos últimos 5 anos foi fundamentada no objetivo de incorporar estudos mais atualizados. Essa abordagem permitirá a compilação e discussão de informações relevantes sobre o tema em questão.

Avaliação da qualidade de estudos incluídos

Nas análises de revisões sistemáticas, destaca-se a necessidade de avaliar a qualidade dos estudos incorporados no escopo da investigação. Com esse propósito, foi recorrida a ferramenta denominada ARRIVE, em conjunto com as diretrizes da CONSORT, uma vez que a determinação da qualidade de estudos *in vitro* carece de consenso bem definido. Nesse processo, uma lista composta por 12 itens específicos foi utilizada para a análise. Cada critério em cada estudo foi avaliado com base em uma escala de classificação pré definida, culminando em uma avaliação final (Arrive, 2010; Moher *et al.*, 2001).

Dado que o estudo em questão faz parte de uma revisão sistemática, a montagem da tabela de classificação foi realizada separadamente por dois revisores. Posteriormente, essas avaliações individuais foram comparadas para verificar a concordância. O resultado da qualidade dos estudos foi, então, consolidado na tabela após garantir que as avaliações dos revisores estivessem alinhadas.

Posteriormente, empregou-se a estatística de Kappa para avaliar o nível de concordância entre ambas as revisoras, utilizando o software estatístico IBM SPSS Statistics (Versão 22.0). Os resultados foram apresentados em tabelas para posterior discussão e análise.

3. Resultados e Discussão

Com o propósito de apresentar de maneira organizada os dados destinados à análise da pesquisa, as fases que culminaram no número final de estudos adotados nesta pesquisa foram representadas no fluxograma do PRISMA. Posteriormente, os resultados foram compilados em uma tabela, proporcionando informações relevantes para uma compreensão abrangente. A pesquisa inicial resultou em 48 registros que atenderam aos critérios estabelecidos previamente, distribuídos entre as bases de dados, onde foram encontrados os seguintes resultados: PubMed= 16; Scopus= 31; Lilacs= 1; e ScieLo= 0 ao utilizar os termos "LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD" como estratégia de busca apresentados de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Abordagem de rastreamento de artigos conforme as bases de dados selecionadas.

BASE DE DADOS	ESTRATÉGIA DE BUSCA (1º revisor)	Nº DE ARTIGOS (1º revisor)	ESTRATÉGIA DE BUSCA (2º revisor)	Nº DE ARTIGOS (2º revisor)
PubMed	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	16	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	16
Scopus	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	31	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	32
Lilacs	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND	1	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND	1

	MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD		MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	
ScieLO	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	0	LACTOBACILLUS AND PROBIOTICS AND MICROENCAPSULATION AND DAIRY FOOD	0
TOTAL	-	48	-	49

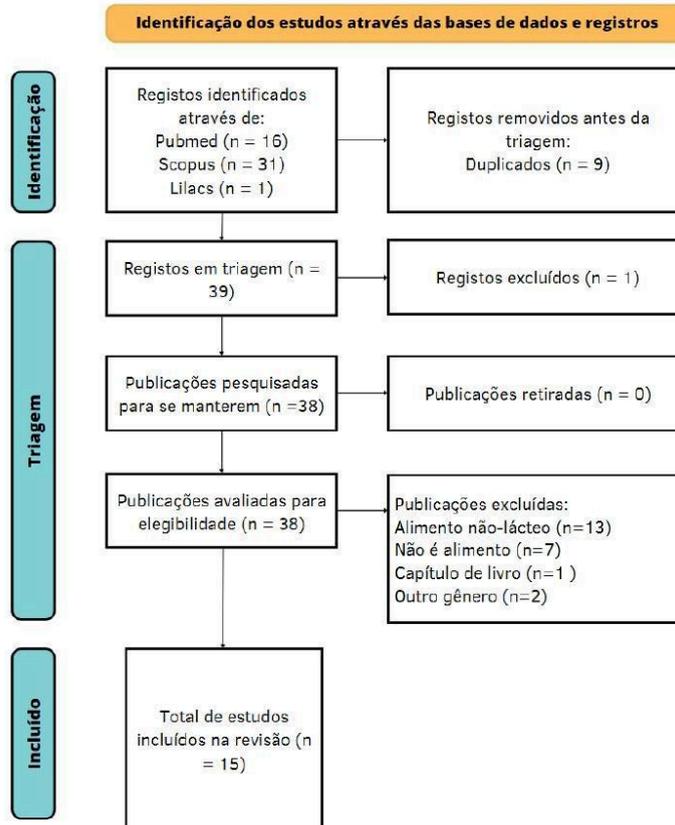
Fonte: Autoria própria

Neste quadro, as colunas apresentam uma distribuição que reflete os resultados obtidos por cada revisor em suas respectivas buscas independentes, conduzidas mediante a aplicação de termos pré definidos unidos pelo conectivo “AND”. Cabe ressaltar que tais dados representam a totalidade da busca, considerando os filtros relacionados ao ano estabelecidos anteriormente à realização de qualquer leitura. Posteriormente, procedeu-se uma triagem desses dados, culminando na determinação do número definitivo de artigos a serem incorporados à pesquisa. Estes dados estão apresentados através do fluxograma PRISMA, representados na Figura 1.

Fonte: Autoria própria

Através da representação do fluxograma do PRISMA, é possível visualizar cada fase do processo de triagem. Nele, são demarcados as bases onde foram encontrados cada artigo, bem como são expostas as exclusões daqueles que não atenderam aos critérios estabelecidos, acompanhadas de suas respectivas justificativas. Este procedimento conduziu à obtenção do número final de artigos (15), os quais se destinam à análise e discussão no âmbito da presente pesquisa.

PRISMA 2020 Fluxograma para novas revisões sistemáticas que incluem buscas em bases de dados, protocolos e outras fontes



Traduzido por Verónica Abreu*, Sónia Gonçalves-Lopes*, José Luís Sousa* e Verónica Oliveira / *ESS Joan Plaget - Vila Nova de Gaia - Portugal
 de: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann IC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71
 Para mais informações, visite: <http://www.prisma-statement.org/>

Fonte: Autoria própria

Através da representação do fluxograma do PRISMA, é possível visualizar cada fase do processo de triagem. Nele, são demarcados as bases onde foram encontrados cada artigo, bem como são expostas as exclusões daqueles que não atenderam aos critérios estabelecidos, acompanhadas de suas respectivas justificativas. Este procedimento conduziu à obtenção do número final de artigos (15), os quais se destinam à análise e discussão no âmbito da presente pesquisa.

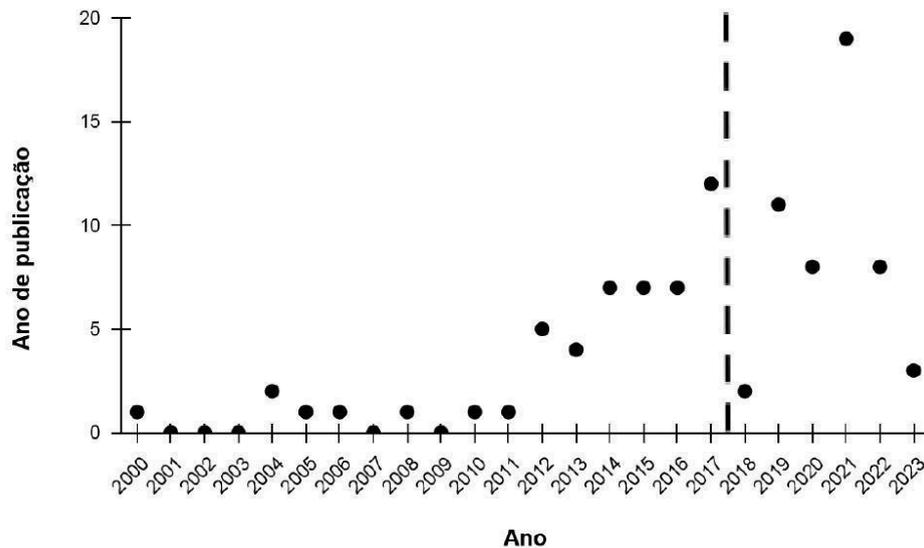
Para a análise de risco de viés, foi utilizado o kappa, onde seu resultado foi de 0,92, entrando na classificação de um kappa quase perfeito, mostrando que houve concordância entre os revisores, onde as principais discordâncias foram:

- Item 2: duas discordâncias
- Item 4: uma discordância
- Item 5: uma discordância
- Item 7: três discordâncias
- Item 8: duas discordâncias

Item 10: três discordâncias

Ao analisar a busca preliminar, verificou-se um aumento progressivo na quantidade de artigos encontrados ao longo dos anos, abrangendo o período de 2000 a 2023. Notavelmente, os últimos cinco anos (2018-2023) se destacaram por apresentar uma maior produção científica na temática em questão, período delimitado no gráfico. Esse aumento atingiu seu ápice em 2021, quando foram contabilizados 19 artigos, conforme apresentado na **Figura 2**.

Figura 2. Exibição do resultado da pesquisa com o número *versus* ano de publicação nas bases de dados, tendo foco nas publicações nos últimos 5 anos (2018-2023) representado no gráfico após tracejado.



Fonte: Autoria própria (2023).

A análise do número total de publicações no quinquênio anterior (2018 a 2023) revela um reflexo significativo do impacto temporal causado pela pandemia da COVID-19. Isso se manifesta claramente por meio de uma notável diminuição no quantitativo de estudos após esse período que, anteriormente, estava em ascensão. A hipótese subjacente a esse declínio sugere que a redução observada nas publicações pode ser atribuída às restrições impostas pelo cenário pandêmico nos anos de 2020 e 2021, limitando as atividades nos laboratórios de pesquisa.

Com o intuito de documentar de maneira abrangente os dados para futuras discussões, foram compiladas informações específicas de cada artigo, as quais foram condensadas e organizadas conforme descrito na **Tabela 1**. Essas informações incluem a citação bibliográfica, o tipo de alimento utilizado, objeto de estudo (quando aplicável), a técnica utilizada na microencapsulação, a taxa de encapsulação, o modelo experimental (abrangendo células, animais ou seres humanos) e os resultados primordiais elucidados por cada investigação.

Tabela 1. Apresentação dos resultados mediante a síntese das informações extraídas dos artigos científicos.

Referência	Alimento/ componente lácteo	Técnica	Taxa de encapsulação (%)	Modelo Experimental	Principais achados
Agudelo-Chaparro, J., Ciro-Velásquez, H. J., Sepúlveda-Valencia, J. U., & Pérez-Monteroza, E. J. (2022). Microencapsulation of <i>Lactobacillus rhamnosus</i> ATCC 7469 by spray drying using maltodextrin, whey protein concentrate and trehalose. <i>Food Science and Technology International</i> , 28(6), 476-488.	Whey protein	Spray drying	70	<i>In vitro</i>	A mistura de proteína-trealose-maltodextrina é adequada para encapsular <i>L. rhamnosus</i> , apresentando importante proteção térmica durante o processo de secagem e aumentando a sobrevivência.
Massounga Bora, A. F., Li, X., Liu, L., & Zhang, X. (2021). Enhanced in vitro functionality and food application of <i>Lactobacillus acidophilus</i> encapsulated in a whey protein isolate and (-)-Epigallocatechin-3-Gallate conjugate. <i>Journal of Agricultural and Food Chemistry</i> , 69(37), 11074-11084.	Whey protein	Liofilização	97	<i>In vitro</i>	Maior capacidade de sobrevivência <i>in vitro</i> ambiente gastrointestinal simulado e hidrofobicidade de superfície em comparação com células livres ou encapsuladas em WPI e MD. Além disso, as microesferas WPI-EGCG-LA exerceram atividades antioxidantes (78%) e antidiabéticas (52%) aumentadas <i>in vitro</i> .
Maleki, M., Ariaii, P., & Sharifi Soltani, M. (2021). Fortifying of probiotic yogurt with free and	Iogurte	Spray drying	64,35	<i>In vitro</i>	Maior viabilidade das bactérias probióticas durante o armazenamento, pH mais baixo, menos

9

microencapsulated extract of <i>Tragopogon Collinus</i> and its effect on the viability of <i>Lactobacillus casei</i> and <i>Lactobacillus plantarum</i> . <i>Food Science & Nutrition</i> , 9(7), 3436-3448.					sinérese (liberação de líquido), maior acidez, viscosidade e propriedades antioxidantes em comparação com o tratamento de controle.
Khorshidi, M., Heshmati, A., Taheri, M., Karami, M., & Mahjub, R. (2021). Effect of whey protein- and xanthan-based coating on the viability of microencapsulated <i>Lactobacillus acidophilus</i> and physicochemical, textural, and sensorial properties of yogurt. <i>Food Science & Nutrition</i> , 9(7), 3942-3953.	Iogurte	Liofilização	99,81	<i>In vitro</i> e humanos (análise sensorial)	O uso de proteína de soro de leite e xantana como revestimento em <i>L. A. acidophilus</i> poderia levar ao aumento considerável na viabilidade deste probiótico no iogurte durante o armazenamento e em condições gastrointestinais simuladas. Além disso, o revestimento aplicado não causou nenhuma alteração significativa no pH e na acidez, nos atributos sensoriais e na gomosidade do iogurte, mas simultaneamente aumentou a firmeza, a adesividade e viscosidade deste produto.
Liao, Y., Hu, Y., Fu, N., Hu, J., Xiong, H., Chen, X. D., & Zhao, Q. (2021). Maillard conjugates of whey protein isolate-xylitoligosaccharides for the microencapsulation of <i>Lactobacillus rhamnosus</i> : protective effects and stability during spray drying, storage and gastrointestinal digestion. <i>Food & Function</i> , 12(9), 4034-4045.	Whey protein	Spray drying	99,83	<i>In vitro</i>	Os lactobacilos secos apresentaram curvas de crescimento semelhantes às da cultura fresca. Após 10 semanas de armazenamento a 4 °C, a diminuição da atividade bacteriana foi inferior a 1 log UFC g ⁻¹ para todos os tipos de microcápsulas, enquanto as microcápsulas compostas por todos os MRPs apresentaram melhor estabilidade de armazenamento. Os MRPs melhoraram a

10

					estabilidade das microcápsulas durante a digestão in vitro. O número de bactérias viáveis em microcápsulas XOS-WPI MRPs 1: 2 foi mantido em $4,09 \pm 0,59 \times 10^9$ UFC g ⁻¹ após digestão gastrointestinal simulada por 4 horas, que diminuiu apenas 0,20 log UFC g ⁻¹
Cezarino, E. C., Guedes Silva, K. C., Souza Almeida, F., & Kawazoe Sato, A. C. (2022). Stability and viability of synbiotic microgels incorporated into liquid, Greek and frozen yogurts. <i>Journal of Food Science</i> , 87(4), 1796-1809.	Iogurte líquido, grego e congelado	Liofilização	Com probiótico (AG): 98,32% Com simbiótico (AGF): 99,28%	In vitro	O iogurte líquido foi o mais adequado para viabilidade probiótica durante o armazenamento, enquanto o iogurte congelado apresentou melhor proteção ao longo da digestibilidade. Seguido pelas formulações congeladas e gregas quando comparados aos probióticos livres, destacando a influência da microencapsulação, da composição do iogurte e das condições de armazenamento. A adição de até 20% de microgéis probióticos (AG) e simbióticos (AGF) não causou alterações significativas na viscosidade aparente (η_{ap}) dos iogurtes líquidos e congelados; no entanto, diminuiu η_{ap} para o iogurte grego, indicando que os microgéis podem alterar a aceitabilidade do produto neste caso.
El-Sayed, H. S., Youssef, K., & Hashim, A. F. (2022). Stirred yogurt as a delivery matrix for freeze-dried	Iogurte mexido	Liofilização	88,84% para microcápsulas	In vitro e humanos (análise sensorial)	Iogurte mexido é um bom veículo de entrega para microcápsulas altamente antioxidantes e

13

microcapsules of synbiotic EVOO nanoemulsion and nanocomposite. <i>Frontiers in Microbiology</i> , 13, 893053.			de nanoemulsão e 98,49% para microcápsulas de nanocompósitos		saudáveis de nanoemulsão e nanocompósito. Além disso, a viabilidade das cepas probióticas na forma de microcápsulas foi mais ativa no iogurte mexido durante o armazenamento.
Banuree, S. A. H., Noori, N., Gandomi, H., Khanjari, A., Karabagias, I. K., Faraki, A. & Banuree, S. Z. (2022). Effect of Stevia rebaudiana aqueous extract and microencapsulation on the survivability of <i>Bifidobacterium bifidum</i> Bb-12 and <i>Lactobacillus acidophilus</i> La-5 in functional ice cream. <i>International Journal of Food Science & Technology</i> , 57(12), 7615-7621.	Sorvete	Extrusão	ND	In vitro e humanos (análise sensorial)	O uso de <i>stevia</i> e a microencapsulação em comparação com outros tratamentos aumentou significativamente o número logarítmico de células viáveis de <i>B. bifidum</i> Bb-12 e <i>L. acidophilus</i> La-5 durante o tempo de armazenamento ($P < 0,05$). Além disso, as propriedades sensoriais e químicas do sorvete não mudaram significativamente em todos os grupos.
Ahmed, S., Muhammad, T., & Zaidi, A. (2021). Cottage cheese enriched with lactobacilli encapsulated in alginate-chitosan microparticles forestalls perishability and augments probiotic activity. <i>Journal of Food Processing and Preservation</i> , 45(6), e15473.	Queijo cottage	Extrusão	98,34%	In vitro	Estendeu a vida útil do queijo, evitando o crescimento de patógenos. O AvG aumentou a atividade antioxidante das esferas simbióticas de <i>L. rhamnosus</i> e <i>L. plantarum</i> em 20% a 30% e a inibição de patógenos de origem alimentar em duas vezes em comparação com o controle e as partículas probióticas. O queijo simbiótico também exibiu um perfil sensorial mais ou menos

14

					igual ao do queijo controle. Esses resultados sugerem que o queijo cottage fortificado com esferas de alginato-quitosana preenchidas com AvG carregadas com cepas de <i>L. rhamnosus</i> ou <i>L. plantarum</i> pode prevenir a invasão de patógenos, manter qualidades funcionais e fornecer mais probióticos ao intestino humano.
Lopes, L. A. A., Pimentel, T. C., Carvalho, R. D. S. F., Madruga, M. S., de Sousa Galvão, M., Bezerra, T. K. A. & Stamford, T. C. M. (2021). Spreadable goat Ricotta cheese added with <i>Lactobacillus acidophilus</i> La-05: Can microencapsulation improve the probiotic survival and the quality parameters?. <i>Food Chemistry</i> , 346, 128769.	Queijo ricota	Liofilização	ND	<i>In vitro</i> e humanos (análise sensorial)	Maior rendimento dos queijos probióticos, além de serem mais macios, menos pegajosos e mais amarelos. A adição da cultura probiótica resultou em produtos com menor dureza, gomosidade e elasticidade, além de maior coesividade e adesividade. A microencapsulação das culturas probióticas resultou em maior sobrevivência probiótica (>6 log UFC/mL no produto e condições gastrointestinais simuladas), e melhoria tecnológica (sem perda de umidade, menor proteólise e teor de ácidos orgânicos), textura (menor gomosidade e adesividade), e propriedades voláteis (compostos com notas florais e frutadas e menor aroma de "cabra").
Karimi, M., Sekhavatizadeh, S. S., & Hosseinzadeh, S. (2021). Milk dessert containing <i>Lactobacillus reuteri</i>	Sobremesa de leite	Extrusão	94,14%	<i>In vitro</i> e humanos (análise sensorial)	Melhora significativa da sobrevivência da <i>L. reuteri</i> microencapsulado e da viabilidade. A

15

(ATCC 23272) encapsulated with sodium alginate, <i>Ferula assa-foetida</i> and <i>Zedo</i> (<i>Amygdalus scoparia</i>) gum as three layers of wall materials. <i>Food and Bioproducts Processing</i> , 127, 244-254.					capacidade de sobrevivência do <i>L. reuteri</i> microencapsulado e do <i>L. reuteri</i> livre foi (44,8 e 18,8%) separadamente no trato gastrointestinal simulado. Os resultados indicaram uma melhora significativa na sobrevivência da MLR ($P \leq 0,05$), que também foi maior que a FLR através da exposição ao calor a 72°C. O FLR experimentou reduções de cerca de 7,6 log após exposição a 72°C por 5 min, enquanto o MLR foi reduzido em quase 2 ciclos logarítmicos. A microencapsulação melhorou a viabilidade da MLR (7,5 log UFC g ⁻¹) durante o tempo de armazenamento. Ao final do tempo de armazenamento, a capacidade de sobrevivência do MLR e do FLR foi (44,8 e 18,8%) separadamente na condição GI.
Mabrouk, A. M., Salama, H. H., El Sayed, H. S., & El Sayed, S. M. (2021). Preparation of symbiotic whey protein gel as a carrier of free and encapsulated probiotic bacteria. <i>Journal of Food Processing and Preservation</i> , 45(7), e15612.	Gel funcional com whey protein	ND	ND	ND	O gel de proteína de soro de leite suplementado com probióticos foi significativamente favorável e a aceitabilidade aumentou com o aumento do tempo de armazenamento.
Gul, O., Atalar, I., & Gul, L. B. (2019). Effect of <i>Ferula assa-foetida</i> and <i>Zedo</i> combinations on viability of <i>Lactobacillus casei</i> Shirota during storage, in	Sobremesa láctea	Liofilização	>99	<i>In vitro</i>	A redução no número de células livres foi maior do que o número de <i>L. casei</i> Shirota encapsulado durante a produção de sobremesa, porém a

16

A Tabela 1 foi estruturada de modo a facilitar o acesso às informações fundamentais ao entendimento do objetivo proposto na revisão, que foi de identificar a eficácia da microencapsulação para *Lactocaseibacillus*. Inicialmente, foram incluídas as referências bibliográficas, fornecendo uma base para a pesquisa em questão. Em seguida, apresentou-se a categorização dos alimentos, um elemento fundamental para a compreensão do estudo, a fim de subsidiar análises posteriores e discussões acerca dos tipos de alimentos mais frequentemente empregados. Adicionalmente, a descrição das técnicas empregadas compôs a tabela, proporcionando clareza sobre as abordagens mais prevalentes na pesquisa. Esse detalhamento visa não apenas esclarecer as técnicas predominantes, mas também orientar na seleção da abordagem mais adequada a cada objetivo de pesquisa e tipo de alimento estudado.

A taxa de encapsulação foi incluída na tabela, devido ao seu papel na orientação das decisões relacionadas à escolha da técnica apropriada e do tipo de alimento em estudo. Esta métrica apresenta informações sobre a capacidade e a quantidade do microrganismo a ser encapsulado nas microcápsulas. É importante destacar que a taxa de encapsulação reside na sua capacidade de fornecer uma avaliação quantitativa da eficácia da técnica de encapsulação. Essa informação determina a influência do processo, o grau de proteção conferido ao microrganismo durante a encapsulação e, conseqüentemente, a capacidade de entrega do produto final (Parsana *et al.*, 2023).

Com o intuito de enriquecer de forma abrangente as informações fornecidas, a tabela de resultados foi expandida por meio da inclusão de uma coluna dedicada ao componente lácteo empregado em cada estudo. Essa abordagem visa abranger os microrganismos que são encapsulados e incorporados em alimentos lácteos. A escolha dessa estratégia foi motivada pela intenção de evitar restrições excessivas que poderiam, potencialmente, limitar a amplitude das descobertas relacionadas a esse tópico.

O contexto das bases de dados evidencia que a falta de atualização do termo referente ao gênero de bactérias "*Lactobacillus*" impacta diretamente nos resultados. Se torna essencial a atualização do termo, pois essa medida garante maior precisão para identificar as espécies. Por essa razão, é imprescindível que pesquisadores e instituições atualizem suas nomenclaturas para refletir a classificação mais atual.

Inicialmente, a investigação concentrou-se na microencapsulação de *Lactocaseibacillus* em alimentos lácteos. No entanto, à medida que a pesquisa progrediu, notou-se que os componentes lácteos estavam sendo mais citados do que os próprios alimentos. Por esse motivo, a organização da coluna foi ajustada para refletir essa distinção (alimentos/compostos lácteos). Uma outra adaptação ao longo do estudo foi a transição do termo "*Lactocaseibacillus*" para "*Lactobacillus*" na busca. Essa mudança foi motivada pela constatação de uma redução significativa nos resultados da busca, o que implicava na exclusão de potenciais estudos relevantes para a discussão.

Dentre os alimentos e componentes lácteos abordados nos artigos, analisados na tabela 1, destacam-se o whey protein, queijo, sorvete e iogurte, esses alimentos são boas escolhas para revestimentos. As taxas de encapsulação mencionadas nesses estudos revelaram, em sua maioria, valores consideráveis, com a grande maioria superando os 90%. A exceção ocorreu no artigo de Maleki (2021), no qual a taxa atingiu 64,35%. Vale ressaltar que, para microrganismos, a taxa de encapsulação tende a ser elevada, comumente ultrapassando os 70%, dependendo da técnica empregada (Razavi *et al.*, 2021).

Os alimentos ou componentes lácteos abordados neste estudo compreendem o whey protein, iogurte, queijo, sobremesa láctea e sorvete. Dentre esses, o whey protein foi objeto de 40% das investigações, seguido pelo iogurte, presente

em 26,66% dos estudos. O whey protein é amplamente consumido pela população, abrangendo desde indivíduos saudáveis até pacientes hospitalizados. Como observado por Khorshidi e outros colaboradores (2021) que o whey protein, um subproduto da indústria do queijo, tinha propriedades funcionais diferentes, incluindo formação de gel, emulsificante, formação de espuma e ligação à água. Devido à biodegradabilidade e ao amplo uso em uma variedade de alimentos acaba sendo uma boa escolha para a inclusão de probióticos microencapsulados. Além de conferir um maior valor à entrega de benefícios, considerando a sua relevância nutricional. Por sua vez, de acordo com El-Sayed, Youssef e Hashim (2022), o iogurte, assim como os leites e demais derivados, pode ser usado como um sistema de entrega para transportar substâncias vitais e células probióticas em quantidades suficientes, preservando seus efeitos terapêuticos para os seres humanos. O iogurte figura como um alimento presente na dieta da população, possivelmente justificando o investimento da indústria em incorporar *Lactocaseibacillus*. Esta prática facilita a comercialização, aceitação e integração do produto na alimentação cotidiana, dada a familiaridade e aceitação desse alimento na cultura alimentar.

As principais metodologias empregadas para a encapsulação de *Lactocaseibacillus* foram o Spray Drying, Extrusão e Liofilização, com taxas de utilização de 26,66%, 20% e 40%, respectivamente. Adicionalmente, constatou-se que 13,33% dos artigos revisados (dois no total) não forneceram informações sobre a técnica específica empregada. A prevalência da liofilização pode ser atribuída à sua capacidade de conferir porosidade à estrutura molecular, resultando em baixa atividade de água. Esse efeito contribui para prolongar a durabilidade das partículas encapsuladas, explicando, assim, sua maior prevalência nas metodologias utilizadas (Orhan *et al.*, 2016).

A liofilização destaca-se pela obtenção de partículas com baixa atividade de água, o que se traduz em uma maior estabilidade ao longo do tempo. Este fato pode explicar a preferência por essa técnica em comparação com o Spray Drying e a Extrusão. Em relação à taxa de encapsulação, observou-se que a liofilização apresentou os melhores resultados, com taxas variando entre 88,84% e 99%. Destaca-se que o estudo de El-Sayed (2022) em questão registrou uma taxa de 88,84% para microcápsulas de nanoemulsão e 98,49% para microcápsulas de nanocompósitos. Isso reforça a importância de considerar fatores adicionais que influenciam a taxa de encapsulação, visto que diferentes composições e propriedades dos materiais encapsulados podem afetar os resultados (Razavi *et al.*, 2021). Nas pesquisas analisadas, o método de Spray Drying se apresenta como a segunda técnica mais prevalente, com uma faixa de taxa de encapsulação que varia de 64,35 a 99,83%, conforme evidenciado nos resultados.

A inclusão da taxa de encapsulação na tabela pode ser justificada pela sua capacidade de refletir a eficiência de cada técnica em concentrar microrganismos no interior das microcápsulas. Essa medida oferece um indicador significativo do desempenho das técnicas citadas ao longo da pesquisa. A consideração dessa variável contribuirá para uma análise mais abrangente das abordagens, podendo trazer uma avaliação comparativa entre as diferentes técnicas de encapsulação utilizadas.

Observa-se uma predominância no emprego do modelo experimental *in vitro*, como os estudos realizados por Agudelo-Chaparro e outros colaboradores (2022) e Massounga Bora *et. al.* (2021). Em alguns casos, ocorreu a integração deste modelo com abordagens *in vivo* em seres humanos, a fim de obter resultados através da análise sensorial, como foi realizado por Karimi, Sekhavatizadeh e Hosseinzadeh (2021). Isso pode ocorrer pela possibilidade de controle nas abordagens sendo mais acessível para reproduzir os testes. A pesquisa em humanos, através da análise sensorial, é possível observar que foi obtido uma boa aceitação sensorial, muitas vezes com pouca diferença em relação ao produto original, ou

seja, sem probióticos microencapsulados.

Durante o curso da investigação científica, surgiu o questionamento acerca do panorama atual do Brasil sobre os produtos e patentes existentes envolvendo a microencapsulação de *Lacticaseibacillus*. Diante disso, o presente estudo examinou bancos de patentes em busca de informações sobre produtos e patentes no âmbito nacional. Para realizar a busca na plataforma de patentes (Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI) foi adotada uma abordagem metodológica, utilizando a opção de filtro denominada "qualquer uma das palavras" na aba de patentes, os termos-chave "*lactobacillus*", "probiotics", "microencapsulation", "dairy food" e o operador booleano "AND" foram inseridos.

O objetivo dessa busca complementar foi obter uma visão abrangente e atualizada sobre o estado de produtos e inovações desenvolvidas no cenário nacional. Em consonância com o período de investigação estabelecido entre 2018 e 2023, a pesquisa resultou em um total de 34 registros no INPI, destaca-se que o ano de 2019 apresentou um pico significativo, com a concessão de 16 patentes. Esses dados evidenciam o panorama atual da microencapsulação de *Lactobacillus* no Brasil e fornecem informações acerca dos produtos, sua diversidade de utilizações, sobre o desenvolvimento desses produtos e a inovação ao longo desse período dentro da temática.

Essa estratégia de busca permite uma análise dos documentos patentários relacionados a essas temáticas, contribuindo, assim, para o avanço do conhecimento científico e tecnológico atualizado sobre *Lactocaseibacillus* e microencapsulação em alimentos lácteos.

A compreensão mais aprofundada dos mecanismos de interação entre os *Lacticaseibacillus* e a microbiota intestinal oferece novas possibilidades para a criação de terapias personalizadas para melhorar a saúde gastrointestinal e imunológica. A pesquisa sobre *Lacticaseibacillus* é justificada pela sua relevância na saúde humana com seu potencial uso como probióticos. Compreender melhor as interações dessas bactérias com o hospedeiro e suas potenciais aplicações terapêuticas através da microencapsulação, pode levar a avanços na promoção da saúde gastrointestinal e imunológica, podendo disponibilizar terapias personalizadas para melhorar a saúde humana de forma abrangente. A investigação científica com o foco em *Lacticaseibacillus* se dá pela sua maior utilização como probióticos, se revelando importante para trazer soluções eficazes e seu uso ser feito de maneira mais adequada.

4. Conclusão

Este estudo abrangeu a análise de 15 artigos, revelando a microencapsulação como uma estratégia inovadora para aprimorar a eficácia e viabilidade de probióticos. A proteção proporcionada por esse método promoveu a estabilidade desses microrganismos, destacando-se como uma abordagem promissora para a entrega eficiente desses agentes benéficos. A escolha da nomenclatura "*Lactocaseibacillus*" foi considerada em conformidade com a ANVISA, porém, devido à coexistência dos termos antigos, optou-se por manter "*Lactobacillus*" para preservar informações valiosas em estudos já existentes.

A liofilização destacou-se como técnica predominante de microencapsulação. Alimentos como whey protein, iogurte e queijo foram foco, com taxa de encapsulação frequentemente superior a 90%, indicando eficácia. Destaca-se como vantagens melhor tolerância ao estresse, maior número de células viáveis, maior taxa de encapsulação e melhor aceitação sensorial para tais técnicas, como liofilização, spray drying e extrusão.

Para trabalhos futuros, sugere-se maior exploração das interações de *Lactocaseibacillus* com a microbiota intestinal, para obtenção de terapias personalizadas. Além disso, é relevante explorar o impacto da pandemia, para melhor compreensão de como eventos externos influenciam nesse tipo de pesquisa e ampliar a investigação para outros alimentos lácteos, além dos já estudados, para entender como diferentes composições e características alimentares podem influenciar a eficácia da microencapsulação.

Referências

- Ahmed, S., Muhammad, T., & Zaidi, A. (2021). Cottage cheese enriched with lactobacilli encapsulated in alginate-chitosan microparticles forestalls perishability and augments probiotic activity. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), e15473.
- Agudelo-Chaparro, J., Ciro-Velásquez, H. J., Sepúlveda-Valencia, J. U., & Pérez-Monteroza, E. J. (2022). Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* ATCC 7469 by spray drying using maltodextrin, whey protein concentrate and trehalose. *Food Science and Technology International*, 28(6), 476-488.
- ARRIVE Guidelines. (2010). *Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments*.
- Banuree, S. A. H., Noori, N., Gandomi, H., Khanjari, A., Karabagias, I. K., Faraki, A., & Banuree, S. Z. (2022). Effect of Stevia rebaudiana aqueous extract and microencapsulation on the survivability of *Bifidobacterium bifidum* Bb-12 and *Lactobacillus acidophilus* La-5 in functional ice cream. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(12), 7615-7621.
- Cezarino, E. C., Guedes Silva, K. C., Souza Almeida, F., & Kawazoe Sato, A. C. (2022). Stability and viability of synbiotic microgels incorporated into liquid, Greek and frozen yogurts. *Journal of Food Science*, 87(4), 1796-1809.
- Chen, L., Qian, W. W., Zhou, S., Zhou, T., & Gu, Q. (2023). Fabrication of whey protein/pectin double layer microcapsules for improving survival of *Lactocaseibacillus rhamnosus* ZFM231. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 125030.
- El-Sayed, H. S., Youssef, K., & Hashim, A. F. (2022). Stirred yogurt as a delivery matrix for freeze-dried microcapsules of synbiotic EVOO nanoemulsion and nanocomposite. *Frontiers in Microbiology*, 13, 893053.
- Frakolaki, G., Giannou, V., Kekos, D., & Tzia, C. (2021). A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(9), 1515-1536.
- Gül, O., Atalar, I., & Gül, L. B. (2019). Effect of different encapsulating agent combinations on viability of *Lactobacillus casei* Shirota during storage, in simulated gastrointestinal conditions and dairy dessert. *Food Science and Technology International*, 25(7), 608-617.
- Hayayumi-Valdivia, M., Márquez-Villacorta, L. F., & Pretell-Vásquez, C. C. (2021). Effect of microencapsulation and mango peel powder on probiotics survival in ice cream. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24.

Karimi, M., Sekhavatizadeh, S. S., & Hosseinzadeh, S. (2021). Milk dessert containing *Lactobacillus reuteri* (ATCC 23272) encapsulated with sodium alginate, *Ferula assa-foetida* and Zedo (*Amygdalus scoparia*) gum as three layers of wall materials. *Food and Bioproducts Processing*, 127, 244-254.

Khorshidi, M., Heshmati, A., Taheri, M., Karami, M., & Mahjub, R. (2021). Effect of whey protein- and xanthan-based coating on the viability of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* and physicochemical, textural, and sensorial properties of yogurt. *Food Science & Nutrition*, 9(7), 3942-3953.

Liao, Y., Hu, Y., Fu, N., Hu, J., Xiong, H., Chen, X. D., & Zhao, Q. (2021). Maillard conjugates of whey protein isolate-xylooligosaccharides for the microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus*: protective effects and stability during spray drying, storage and gastrointestinal digestion. *Food & Function*, 12(9), 4034-4045.

Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 62(10), e1-e34.

Lopes, L. A. A., Pimentel, T. C., Carvalho, R. D. S. F., Madruga, M. S., de Sousa Galvão, M., Bezerra, T. K. A., & Stamford, T. C. M. (2021). Spreadable goat Ricotta cheese added with *Lactobacillus acidophilus* La-05: Can microencapsulation improve the probiotic survival and the quality parameters?. *Food Chemistry*, 346, 128769.

Ma

7 CONCLUSÃO

Este estudo abrangeu a análise de 15 artigos, revelando a microencapsulação como uma estratégia inovadora para aprimorar a eficácia e viabilidade de probióticos. A proteção proporcionada por esse método promoveu a estabilidade desses microrganismos, destacando-se como uma abordagem promissora para a entrega eficiente desses agentes benéficos.

A escolha da nomenclatura "*Lacticaseibacillus*" foi considerada em conformidade com a ANVISA. Entretanto, devido à coexistência dos termos antigos, optou-se por manter "*Lactobacillus*" para preservar informações valiosas em estudos já existentes.

A liofilização destacou-se como a técnica predominante na microencapsulação, amplamente empregada em alimentos como *whey protein*, iogurte e queijo. Taxas de encapsulação superiores a 90% evidenciaram a eficácia consistente desse método. As pesquisas adotaram modelos *in vivo*, envolvendo animais, e ambientes simulados do trato intestinal. Em alguns casos, foram incluídas pesquisas em humanos, com testes sensoriais enfatizando a boa aceitação de alimentos contendo probióticos microencapsulados.

Vantagens como melhor tolerância ao estresse, maior viabilidade celular e aceitação sensorial destacam técnicas como liofilização, *spray drying* e extrusão. Para estudos futuros, recomenda-se uma exploração mais aprofundada das interações de *Lacticaseibacillus* com a microbiota intestinal, visando terapias personalizadas. Além disso, é crucial investigar o impacto de eventos externos, como a pandemia, e ampliar a pesquisa para outros alimentos lácteos e não lácteos, compreendendo como diferentes composições influenciam a eficácia da microencapsulação e viabilidade dos probióticos avaliados.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, Julia et al. Microbiota intestinal y salud. **Gastroenterología y Hepatología**, Barcelona, v. 44, n. 7, p. 519-535, 2021.
- ANJUM, Nazia et al. Lactobacillus acidophilus: characterization of the species and application in food production. **Critical reviews in food science and nutrition**, Boca Raton, v. 54, n. 9, p. 1241-1251, 2014.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Alimentos com Alegação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde, Novos Alimentos/ Ingredientes, Substâncias Bioativas e Probióticos, Brasília, 2005.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 76, de 5 de novembro de 2020. Brasília, 2020.
- ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Gerência-Geral de Alimentos. Alteração taxonômica de espécies do gênero lactobacillus: perguntas e respostas. Brasília, 2021.
- BRAHMA, Sandrayee; NAIK, Amruta; LORDAN, Ronan. Probiotics: A gut response to the COVID-19 pandemic but what does the evidence show?. **Clinical Nutrition ESPEN**, Oxford, v. 51, p. 17–27 2022.
- BULL. Matthew et al. The life history of *Lactobacillus acidophilus* as a probiotic: a tale of revisionary taxonomy, misidentification and commercial success. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v 349, n 2, p 77-87, 2013.
- CALAÇA, Priscilla RA et al. Podem as bactérias ácido lácticas probióticas apresentarem efeito antitumoral em modelo animal de câncer de cólon? Uma revisão da literatura. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 37, p. 587-592, 2017.
- CARRO, Luis Máiz. Probióticos en infecciones respiratorias. **Open Respiratory Archives**, Barcelona, v. 5, n. 4, 2023.
- CENTURION, Franco et al. Nanoencapsulation for probiotic delivery. **ACS nano**, Washington, v. 15, n. 12, p. 18653-18660, 2021.
- CHELLADURAI, Kobika et al. Lactobacillus helveticus: Health effects, current applications, and future trends in dairy fermentation. **Trends in Food Science & Technology**, Lausanne, v. 36, p. 159-168, 2023.
- CHEN, Chi et al. Lactobacillus gasseri relieves diarrhea caused by enterotoxin-producing Escherichia coli through inflammation modulation and gut microbiota regulation. **Food Bioscience**, Cambridge, v. 56, p. 103-186, 2023.
- CHU, Anna et al. Daily consumption of Lactobacillus gasseri CP2305 improves quality of sleep in adults—A systematic literature review and meta-analysis. **Clinical Nutrition**, Edinburgh, v.42,8, p.1314-1321 2023.
- COOK, Michael T. et al. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. **Journal of controlled release**, Berlin, v. 162, n. 1, p. 56-67, 2012.
- CUTRIM, Camila Sampaio; ALVIM, Izabela Dutra; CORTEZ, Marco Antonio Sloboda. Microencapsulation of green tea polyphenols by ionic gelation and spray chilling methods. **Journal of food science and technology**, Mysore, v. 56, p. 3561-3570, 2019.
- DA ROSA, Fernanda Cristina; NOGUEIRA, André Lourenço; DERETTI, Olivia. Caracterização de micropartículas de PLLA contendo curcumina pela técnica de emulsificação/evaporação de solvente/Characterization of PLLA microparticles containing curcumin by solvent emulsification/evaporation technique. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 28837-28847, 2021.
- DE ABREU FIGUEIREDO, Jayne et al. Microencapsulation by spray chilling in the

- food industry: Opportunities, challenges, and innovations. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 120, p. 274-287, 2021.
- DE MELO PEREIRA, Gilberto Vinícius et al. How to select a probiotic? A review and update of methods and criteria. **Biotechnology advances**, Oxford, v. 36, n. 8, p. 2060-2076, 2018.
- DU, Tingfeng et al. The beneficial role of probiotic lactobacillus in respiratory diseases. **Frontiers in Immunology**, Lausanne, v. 13, 2022.
- FAVARO-TRINDADE, Carmen S. et al. Microencapsulation as a tool to producing an extruded functional food. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, Boca Raton, v. 128, p. 109433, 2020.
- FRAKOLAKI, Georgia et al. A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. **Critical reviews in food science and nutrition**, Boca Raton, v. 61, n. 9, p. 1515-1536, 2021.
- GAO, The Functional Roles of *Lactobacillus acidophilus* in Different Physiological and Pathological Processes. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, Seoul, v. 32, n. 10. p. 1226-1233, 2022.
- GENTILE, João Kleber Almeida et al. O microbioma intestinal nos pacientes submetidos a cirurgia bariátrica. Revisão sistemática. **ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)**, São Paulo, v. 35, 2022.
- GROCHOWICZ, Józef; FABISIAK, Anna; EKIELSKI, Adam. Importance of physical and functional properties of foods targeted to seniors. **Journal of Future Foods**, [s. l.], v. 1, p. 146-155, 2021.
- GÜNEL, Zehra et al. Production of pungency-suppressed capsaicin microcapsules by spray chilling. **Food Bioscience**, Cambridge, v. 40, p. 100918, 2021.
- GURON, Giselle KP et al. Differential behavior of *Lactobacillus helveticus* B1929 and ATCC 15009 on the hydrolysis and angiotensin-I-converting enzyme inhibition activity of fermented ultra-high temperature milk and nonfat dried milk powder. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 106,7, p. 4502-4515, 2023.
- HANSON, P. A.; MOCQUOT, G. *Lactobacillus acidophilus* (Moro) comb. nov. In: International Journal of Systematic Bacteriology, [s.l.], v. 20, p. 325-327, 1970.
- HAYAYUMI-VALDIVIA, María; MÁRQUEZ-VILLACORTA, Luis Francisco; PRETELL-VÁSQUEZ, Carla Consuelo. Effect of microencapsulation and mango peel powder on probiotics survival in ice cream. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 24, 2021.
- HIJOVA, E. Probiotics and prebiotics, targeting obesity with functional foods. **Bratisl Lek Listy**, Bratislava, v. 122, n. 9, p. 647-652, 2021.
- HOANG, Nguyen Huy et al. Chitosan nanoparticles-based ionic gelation method: a promising candidate for plant disease management. **Polymers**, Basel, v. 14, n. 4, p. 662, 2022.
- ILIC, I. et al. Microparticle size control and glimepiride microencapsulation using spray congealing technology. **International Journal of Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 381, n. 2, p. 176-183, 2009.
- JIA, Xianxian et al. Demonstration of safety characteristics and effects on gut microbiota of *Lactobacillus gasserii* HMV18. **Food Science and Human Wellness**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 611-620, 2024.
- KANG, Yongbo et al. *Lactobacillus acidophilus* ameliorates obesity in mice through modulation of gut microbiota dysbiosis and intestinal permeability. **Pharmacological research**, London, v. 175, p. 106020, 2022.
- KANWAL, S. et al. Development of chitosan based microencapsulated spray dried powder of tuna fish oil: oil load impact and oxidative stability. **Brazilian Journal of**

Biology, São Paulo, v. 84, 2021.

KATO-KATAOKA, Akito et al. Fermented milk containing *Lactobacillus casei* strain Shirota preserves the diversity of the gut microbiota and relieves abdominal dysfunction in healthy medical students exposed to academic stress. **Applied and environmental microbiology**, Washington, v. 82, n. 12, p. 3649-3658, 2016.

KOUHI, Fardin et al. Potential probiotic and safety characterisation of *Enterococcus* bacteria isolated from indigenous fermented Motal cheese. **International Dairy Journal**, [s.l.], v. 126, p. 105247, 2022.

KURTULBAŞ, Ebru et al. Encapsulation of *Moringa oleifera* leaf extract in chitosan-coated alginate microbeads produced by ionic gelation. **Food Bioscience**, [s.l.], v. 50, p. 102158, 2022.

LAGO, Andrea Marta de Sena. **Avaliação do padrão de identidade e qualidade de leites fermentados probióticos**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Ciência de Alimentos, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

LILLY, Daniel M.; STILLWELL, Rosalie H. Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms. **Science**, New York, v. 147, n. 3659, p. 747-748, 1965.

LOPES, Laênia Angélica Andrade et al. Spreadable goat Ricotta cheese added with *Lactobacillus acidophilus* La-05: Can microencapsulation improve the probiotic survival and the quality parameters?. **Food Chemistry**, Barking, v. 346, p. 128769, 2021.

MACKOWIAK, Philip A. Recycling Metchnikoff: probiotics, the intestinal microbiome and the quest for long life. **Frontiers in public health**, Lausanne, v. 1, p. 52, 2013.

MANTEGAZZA, Cecilia et al. Probiotics and antibiotic-associated diarrhea in children: A review and new evidence on *Lactobacillus rhamnosus* GG during and after antibiotic treatment. **Pharmacological Research**, London, v. 128, p. 63-72, 2018.

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, Agustín Ernesto; ANDREO-MARTÍNEZ, Pedro. Prebióticos, probióticos y trasplante de microbiota fecal en el autismo: una revisión sistemática. **Revista de Psiquiatría y Salud Mental**, Barcelona, v. 13, n. 3, p. 150-164, 2020.

MATHIPA-MDAKANE, Moloko G.; THANTSHA, Mapitsi S. *Lactobacillus rhamnosus*: A suitable candidate for the construction of novel bioengineered probiotic strains for targeted pathogen control. **Foods**, Basel v. 11, n. 6, p. 785, 2022.

MENEZES, Cristiano Ragagnin de et al. Microencapsulação de probióticos: avanços e perspectivas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, p. 1309-1316, 2013.

MENEZES, Maria Fernanda da Silveira Cáceres de et al. **Microencapsulação de probióticos por multicamadas para aplicação em alimentos**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Tecnologia dos alimentos. Santa Maria, 2019.

MORALES, M. E.; RUIZ, M. A. Microencapsulation of probiotic cells: applications in nutraceutical and food industry. **Nutraceuticals**, Boca Raton, v. 1, p. 627-668, 2016.

MOTALEBI MOGHANJOUGI, Zahra et al. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium animalis* BB-12 in pectin and sodium alginate: A comparative study on viability, stability, and structure. **Food Science & Nutrition**, Malden, v. 9, n. 9, p. 5103-5111, 2021.

NIÑO-VÁSQUEZ, Iván A. et al. Co-microencapsulation: a promising multi-approach technique for enhancement of functional properties. **Bioengineered**, Austin, v. 13, n. 3, p. 5168-5189, 2022.

- OLIVARES, Araceli; SILVA, Paulina; ALTAMIRANO, Claudia. Microencapsulation of probiotics by efficient vibration technology. **Journal of microencapsulation**, London, v. 34, n. 7, p. 667-674, 2017.
- ORHAN, I. E. et al. **Adulteration and safety issues in nutraceuticals and dietary supplements: innocent or risky?**. Nutraceuticals (Nanotechnology in the Agri-Food Industry). v. 4, [s.l.], Academic Press, 2016, p.153-175.
- OZKAN, Gulay et al. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food chemistry**, Barking, v. 272, p. 494-506, 2019.
- PARSANA, Yash; YADAV, Manish; KUMAR, Sachin. Microencapsulation in the chitosan-coated alginate-inulin matrix of *Limosilactobacillus reuteri* SW23 and *Lactobacillus salivarius* RBL50 and their characterization. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s.l.], v. 5, p. 100285, 2023.
- POLEKKAD, Abhinash et al. Microencapsulation of zinc by spray-drying: Characterisation and fortification. **Powder Technology**, [s.l.], v. 381, p. 1-16, 2021.
- PENG, Mengfei et al. Effectiveness of probiotics, prebiotics, and prebiotic-like components in common functional foods. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, Chicago, v. 19, n. 4, p. 1908-1933, 2020.
- PEREIRA, Keyla Carvalho et al. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, 2018.
- PIMENTEL, Tatiana Colombo et al. Probiotic viability, physicochemical characteristics and acceptability during refrigerated storage of clarified apple juice supplemented with *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* and oligofructose in different package type. **LWT-Food science and Technology**, [s.l.], v. 63, n. 1, p. 415-422, 2015.
- POLETTI, Gabriela et al. Encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* and different prebiotic agents by external ionic gelation followed by freeze-drying. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, 2019.
- RADDATZ, Greice Carine; MENEZES, Cristiano Ragagnin de. Microencapsulation and co-encapsulation of bioactive compounds for application in food: challenges and perspectives. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 51, 2021.
- RAJMOHAN, Deepak; BELLMER, Danielle. Characterization of Spirulina-alginate beads formed using ionic gelation. **International journal of food science**, New York, v. 2019, 2019.
- RAZAVI, Seyedehamideh et al. Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. **Food Hydrocolloids**, Basel, v. 120, p. 106882, 2021.
- RIBEIRO, Jessica S.; VELOSO, Cristiane M. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. **Food hydrocolloids**, [s.l.], v. 112, p. 106374, 2021.
- SARAO, Loveleen Kaur; ARORA, M. Probiotics, prebiotics, and microencapsulation: A review. **Critical reviews in food science and nutrition**, Boca Raton, v. 57, n. 2, p. 344-371, 2017.
- SBEHAT, Maram; MAURIELLO, Gianluigi; ALTAMIMI, Mohammad. Microencapsulation of Probiotics for Food Functionalization: An Update on Literature Reviews. **Microorganisms**, Basel, v. 10, n. 10, p. 1948, 2022.
- SHEN, Li-Han et al. Probiotic supplementation attenuates age-related sarcopenia via the gut–muscle axis in SAMP8 mice. **Journal of cachexia, sarcopenia and**

- muscle**, Heidelberg, v. 13, n. 1, p. 515-531, 2022.
- SHRUTHI, B. et al. Exploring biotechnological and functional characteristics of probiotic yeasts: A review. **Biotechnology Reports**, Amsterdam, p. e00716, 2022.
- SILVA, Catarina et al. Oral delivery system for peptides and proteins: II. Application of microencapsulation methods. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Amsterdam, v. 39, p. 1-20, 2003.
- SILVA, Ivan Paulo Bianco da et al. **Lactobacillus spp de origem humana probióticos potenciais: características funcionais e de segurança**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.
- SILVA, Ramon et al. Microencapsulation with spray-chilling as an innovative strategy for probiotic low sodium requeijão cremoso processed cheese processing. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 46, p. 101517, 2022.
- SILVA, Sebastião Anderson Dantas da. **Microencapsulação de Lactobacillus acidophilus e Lactiplantibacillus plantarum em alginato e gelatina: estudo da produção, caracterização e estabilidade visando aplicação em alimentos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tecnologia dos Alimentos. Rio Grande do Norte, 2021.
- SILVERIO, Gabriela Barros et al. Production and characterization of alginate microparticles obtained by ionic gelation and electrostatic adsorption of concentrated soy protein. **Ciência Rural**, São Paulo, v. 48, 2018.
- SONG, Xu-Chun et al. One-step Emulsification for Controllable Preparation of Ethyl cellulose Microcapsules and their Sustained Release Performance. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, p. 112560, 2022.
- SORNSENEE, Phoomjai et al. Characterization of probiotic properties and development of banana powder enriched with freeze-dried Lacticaseibacillus paracasei probiotics. **Heliyon**, London, v. 8, n. 10, p. e11063, 2022.
- TAKADA, M. et al. Probiotic Lactobacillus casei strain Shirota relieves stress-associated symptoms by modulating the gut-brain interaction in human and animal models. **Neurogastroenterology & Motility**, Osney, v. 28, n. 7, p. 1027-1036, 2016.
- TALEBIAN, Sepehr et al. Biopolymer-Based Multilayer Microparticles for Probiotic Delivery to Colon. **Advanced Healthcare Materials**, Weinheim, v. 11, n. 11, p. 2102487, 2022.
- TALIB, Noorshafadzilah et al. Isolation and characterization of Lactobacillus spp. from kefir samples in Malaysia. **Molecules**, Basel, v. 24, n. 14, p. 2606, 2019.
- TERPOU, Antonia et al. Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. **Nutrients**, Basel, v. 11, n. 7, p. 1591, 2019.
- VANDENPLAS, Yvan; HUYS, Geert; DAUBE, Georges. Probiotics: an update. **Jornal de Pediatria**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 1, p. 6-21, 2015.
- VETERINI, Anna Surgeon et al. Simple neutralization test report: Do probiotics contribute to COVID-19 therapy?. **Biochemistry and Biophysics Reports**, Amsterdam, v. 32, p. 101348, 2022.
- VIANA, Carolina Carvalho Ramos et al. Microencapsulamento de bactérias probióticas: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e242101320814-e242101320814, 2021.
- WANG, Mengmeng et al. Probiotic characteristics of Lactobacillus gasseri TF08-1, a cholesterol-lowering bacterium, isolated from human gut. **Enzyme and Microbial Technology**, Guildford, p. 110276, 2023.

- WIEËRS, Grégoire et al. How probiotics affect the microbiota. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, Lausanne, v. 9, p. 454, 2020.
- WU, Jia-Juan et al. Evaluation of the safety and probiotic properties of *Lactobacillus gasseri* LGZ1029 based on whole genome analysis. **LWT**, [s.l.] p. 114759, 2023.
- YAN, Ren et al. Probiotic *Lactobacillus casei* Shirota prevents acute liver injury by reshaping the gut microbiota to alleviate excessive inflammation and metabolic disorders. **Microbial Biotechnology**, Oxford, v. 15, n. 1, p. 247-261, 2022.
- YAO, Mingfei et al. Progress in microencapsulation of probiotics: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, Chicago, v. 19, n. 2, p. 857-874, 2020.
- YE, Pengxin et al. Purification and characterization of a novel bacteriocin from *Lactobacillus paracasei* ZFM54. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie**, [s.l.], v. 143, p. 111125, 2021.
- XAVIER-SANTOS, Douglas et al. Evidences and perspectives of the use of probiotics, prebiotics, synbiotics, and postbiotics as adjuvants for prevention and treatment of COVID-19: A bibliometric analysis and systematic review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 120, p. 174-192, 2022.
- ZAEIM, Davood et al. Microencapsulation of probiotics in multi-polysaccharide microcapsules by electro-hydrodynamic atomization and incorporation into ice-cream formulation. **Food Structure**, [s.l.], v. 25, p. 100147, 2020.
- ZHANG, He; CHEN, Kaipeng; YANG, Jinglei. Development of a versatile microencapsulation technique for aqueous phases using inverse emulsion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [s.l.], v. 634, p. 127865, 2022.
- ZHANG, Jie et al. Water-in-water Pickering emulsion: A fascinating microculture apparatus for embedding and cultivation of *Lactobacillus helveticus*. **Food Hydrocolloids**, [s.l.], v. 147, p. 109398, 2024.
- ZHOU, Bingqian et al. *Lactobacillus rhamnosus* GG colonization in early life regulates gut-brain axis and relieves anxiety-like behavior in adulthood. **Pharmacological Research**, London, v. 177, p. 106090, 2022.

ANEXO A – CARTA DE ACEITE DO ARTIGO

RESEARCH, SOCIETY AND DEVELOPMENT

Carta de Aceite

O trabalho intitulado "Microencapsulação de Lacticaseibacillus: uma revisão sistemática", submetido em "29/11/2023" foi aceito para publicação e será publicado em até 30 dias na Revista Research, Society and Development - ISSN 2525-3409.

O trabalho é de autoria de:

Leticia Santana, Andreza Silva, Wellington Oliveira, Alessandra Araujo, Ana Lisa Gomes e Mariane Nogueira.

São Paulo, 09 de dezembro de 2023.



Dr. Ricardo Shitsuka
Editor