

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS
ALIMENTOS

Vandré Sonza Pinto

**DESENVOLVIMENTO DE MICROCÁPSULAS CONTENDO LACTOBACILLUS
ACIDOPHILUS E ÓLEO DE CHIA (SALVIA HISPÂNICA L) PELA TÉCNICA DE
GELIFICAÇÃO IÔNICA EXTERNA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Santa Maria, RS

2023

Vandré Souza Pinto

**DESENVOLVIMENTO DE MICROCÁPSULAS CONTENDO LACTOBACILLUS
ACIDOPHILUS E ÓLEO DE CHIA (SALVIA HISPÂNICA L) PELA TÉCNICA DE
GELIFICAÇÃO IÔNICA EXTERNA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia dos Alimentos**.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Ragagnin de Menezes
Co-orientador: Prof. Dr. Roger Wagner

Santa Maria, RS
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Pinto, Vandr e
DESENVOLVIMENTO DE MICROC APSULAS CONTENDO
LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS E ÓLEO DE CHIA (SALVIA
HISP NICA L) PELA TÉCNICA DE GELIFICA O IÔNICA EXTERNA /
Vandr e Pinto.- 2024.
108 p.; 30 cm

Orientador: Cristiano Menezes
Coorientador: Roger Wagner
Disserta o (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Gradua o em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, RS, 2024

1. microencapsula o 2. probióticos 3.  leos poli
insaturados 4.  mega-3 I. Menezes, Cristiano II. Wagner,
Roger III. Título.

Sistema de gera o automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Dire o da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, VANDR E PINTO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Disserta o) foi por mim elaborada e que as informa es necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obten o de qualquer outro grau acad mico, estando ciente de que a inveracidade da presente declara o poderá resultar na anula o da titula o pela Universidade, entre outras consequências legais.

**DESENVOLVIMENTO DE MICROCÁPSULAS CONTENDO LACTOBACILLUS
ACIDOPHILUS E ÓLEO DE CHIA (SALVIA HISPÂNICA L) PELA TÉCNICA DE
GELIFICAÇÃO IÔNICA EXTERNA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Ciência e Tecnologia dos
Alimentos, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial
para obtenção do título de **Mestre em Ciência
e Tecnologia dos Alimentos**

Cristiano Ragagnin de Menezes, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Roger Wagner, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)

Cristiano Augusto Ballus, Dr. (UFSM)

Thaiane Marques da Silva, Dra. (Weecaps)

Santa Maria, RS
2023

Dedico este trabalho a Deus, a
Oxalá e aos meus familiares e
amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha família por todo o apoio necessário para a realização deste trabalho, em especial minha mãe Viliane Sonza e pai Valtair Pinto e meu tio Ebrezi Sonza, sem vocês a realização desse momento em minha vida não seria possível.

Aos meus compadres Caroline e Renato que sempre me apoiaram e me ampararam, quando necessário, para a realização deste projeto.

Aos meus colegas e amigos do laboratório 106 pelo auxílio nas análises, parceria e boas conversas.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos pela oportunidade.

Ao professor Cristiano Ragagnin de Menezes, pelos ensinamentos, instrução, sensibilidade, bondade, competência profissional e orientação.

Ao professor Roger Wagner pela colaboração, ensinamentos e atenção, além de ter disponibilizado o laboratório 110, juntamente com equipamentos e materiais para realizar as análises necessárias ao óleo. Agradeço também seus orientados pelo auxílio, em especial o professor Mádson Cordeiro, que me acompanhou durante todo o mestrado, auxiliando no que fosse necessário.

Às colegas e amigas Thaianne Marques e Cassandra de Deus pela contribuição com suas experiências na área acadêmica.

Agradeço aos bolsistas de iniciação científica do laboratório 106, em especial à Caroline Pinto Rangel, pelas ajudas nas análises e comprometimento com o aprendizado.

À CAPES, pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos.

Ao Laboratório 106 do Núcleo de Tecnologia em Alimentos (NTA), pela ajuda essencial na realização deste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Ciência e Tecnologia em Alimentos pelo auxílio para a realização desta pesquisa.

À banca, por aceitar o convite de participação e pelas contribuições fornecidas.

Enfim, agradeço de coração a todos que contribuíram para que eu concluísse este enorme projeto da minha vida.

DESENVOLVIMENTO DE MICROCÁPSULAS CONTENDO LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS E ÓLEO DE CHIA (*SALVIA HISPÂNICA L*) PELA TÉCNICA DE GELIFICAÇÃO IÔNICA EXTERNA

AUTOR: Vandr e Souza Pinto
ORIENTADOR: Cristiano Ragagnin de Menezes
CO-ORIENTADOR: Roger Wagner

RESUMO

O crescimento da demanda e interesse dos consumidores por produtos alimentares com potenciais benefícios   saúde, tem fomentado a pesquisa para o desenvolvimento de alimentos funcionais. Dentre eles, os probióticos se destacam por estarem relacionados, principalmente, na regula o do sistema intestinal. E, também, os ácidos graxos poli-insaturados, principalmente aos pertencentes do grupo ômega, sendo o mais requisitado o  mega-3. No entanto, fatores como armazenamento em baixas temperaturas, acidez, presença de luz e a degrada o durante a passagem pelo sistema digestivo humano prejudicam a viabilidade destes microrganismos bem como a estabilidade lipídica. Diante disso, se faz necessária a utiliza o de novas tecnologias para a prote o dessas substâncias. A microencapsula o surge como uma alternativa para conserva o dos probióticos e das substâncias lipídicas, bem como, proporcionar uma libera o controlada dos mesmos. Desta maneira, o objetivo desse estudo foi desenvolver microp rticulas através da técnica de gelifica o iônica externa. Como material de parede, utilizou-se o alginato (2%) e emulsionado com óleo de chia (*Salvia hispanica L.*) nas concentra es de 10%, 15% e 20%, ambas contendo *Lactobacillus acidophilus*- LA02. Analisou-se o tamanho e distribui o das microp rticulas, a eficiência de encapsula o do microrganismo e do óleo, a viabilidade em simula o gastrointestinal, estabilidade da bactéria e lipídica durante diferentes condi es de armazenamento (25, 7 e -18  C) por 90 dias, acompanhamento do perfil lipídico por 90 dias e resistência das microp rticulas ao tratamento térmico (72  C / 15 s e 63  C / 30 min). As microp rticulas apresentaram uma varia o de tamanho de 206 – 363  m. As microp rticulas com probiótico e óleo, protegeram os microrganismos frente aos testes de avalia o de resistência gastrointestinal simulada e tratamento térmico. Quanto ao armazenamento nas temperaturas, a 25  C e 7 C, os tratamentos que cont m o óleo mantiveram os probióticos viáveis por 90 dias. Assim como, as microp rticulas promoveram a prote o dos probióticos, protegendo também o óleo da oxida o nas temperaturas de armazenamento, sendo a temperatura -18 C e 7 C, com as melhores performances no controle oxidativo. Por fim, com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a co-encapsula o do *Lactobacillus acidophilus* e o óleo de chia foi alcançada com êxito, sendo uma alternativa para viabilizar a prote o de ambas substâncias nos alimentos.

Palavras chave: microencapsula o. probióticos.  leos poli-insaturados.  mega-3.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MICROCAPSULES CONTAINING LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS AND CHIA OIL (SALVIA HISPANICA L.) BY THE EXTERNAL IONIC GELIFICATION TECHNIQUE

AUTHOR: Vandr e Souza Pinto

ADVISOR: Cristiano Ragagnin de Menezes

CO-ADVISOR: Roger Wagner

The growth in consumer demand and interest in food products with potential health benefits has encouraged research into the development of functional foods. Among these, probiotics stand out for their role in regulating the intestinal system. There are also polyunsaturated fatty acids, especially those belonging to the omega group, the most popular of which is omega-3. However, factors such as storage at low temperatures, acidity, the presence of light and degradation during passage through the human digestive system affect the viability of these microorganisms as well as their lipid stability. This makes it necessary to use new technologies to protect these substances. Microencapsulation has emerged as an alternative for the preservation of probiotics and lipid substances, as well as for their controlled release. The aim of this study was to develop microparticles using the external ionic gelation technique. Alginate (2%) was used as the wall material and emulsified with chia oil (*Salvia hispanica L.*) at concentrations of 10%, 15% and 20%, both containing *Lactobacillus acidophilus*- LA02. The size and distribution of the microparticles, the encapsulation efficiency of the microorganism and the oil, viability in gastrointestinal simulation, stability of the bacteria and lipid during different storage conditions (25, 7 and -18  C) for 90 days, monitoring of the lipid profile for 90 days and resistance of the microparticles to heat treatment (72  C / 15 s and 63  C / 30 min) were analyzed. The microparticles varied in size from 206 - 363  m. The microparticles with probiotic and oil protected the microorganisms in the tests to evaluate simulated gastrointestinal resistance and heat treatment. As for storage at 25 C and 7 C, the treatments containing the oil kept the probiotics viable for 90 days. The microparticles also protected the probiotics and the oil from oxidation at the storage temperatures, with -18 C and 7 C having the best performances in terms of oxidative control. Finally, based on the results obtained, it can be concluded that the co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* and chia oil was successfully achieved and is an alternative to enable the protection of both substances in food.

Key words: microencapsulation. probiotics. polyunsaturated oils. omega-3.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivos gerais.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	PROBIÓTICO.....	14
2.1.1	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	15
2.2	ÓLEOS VEGETAIS COMESTÍVEIS.....	16
2.3	ÓLEO DE CHIA.....	16
2.4	MICROENCAPSULAÇÃO.....	17
2.5	MICROENCAPSULAÇÃO DE PROBIÓTICOS.....	18
2.6	MICROENCAPSULAÇÃO POR GELIFICAÇÃO IÔNICA EXTERNA.....	18
2.6.1	Alginato de sódio.....	21
2.7	MICROENCAPSULAÇÃO DO ÓLEOS COMESTÍVEIS.....	22
	MANUSCRITO 1- ARTIGO DE REVISÃO.....	24
	MANSUCRITO 2 – ARTIGO DE RESULTADOS.....	58
3	CONCLUSÃO	95
	REFÊRENCIAS.....	97

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Esquema do fluxo de encapsulação de bactérias por gelificação iônica externa....	19
FIGURA 2- Sistema para obtenção de micropartículas por gelificação iônica externa.....	20
FIGURA 3- Modelo "caixa de ovos" para formação de gel de alginato com íons cálcio.....	21
FIGURA 4- Estrutura química do alginato de sódio.....	22

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Composição de ácidos graxos em óleo de sementes de chia.....	17
--	----

1 INTRODUÇÃO

A busca dos consumidores por alimentos que tragam benefícios a saúde, que favoreçam o bem-estar e auxiliem na prevenção de doenças, além de ser de alta qualidade, vem aumentando nos últimos anos (PETRESCU; VERMEIR; PETRESCU-MAG, 2019). Com a popularização dos alimentos funcionais, os consumidores estão mais conscientes aos benefícios à saúde associados ao consumo dessa classe de alimentos (BAKER et al., 2022). Os probióticos e óleos com ácido graxo rico em ômega-3 são exemplos de ingredientes alimentares funcionais.

Probióticos são microrganismos vivos que ao serem consumidos em quantidades adequadas conferem benefícios ao hospedeiro (FAO/OMS, 2002; SHI et al., 2022).

Dentre as bactérias probiótica utilizadas, os gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* desempenham um significativo papel na manutenção da microbiota intestinal e regulação do sistema imunológico do hospedeiro (GALDEANO et al., 2019).

A ingestão diária dos probióticos pode resultar em melhorias no equilíbrio da microbiota, aumento na absorção de nutrientes, fortalecimento dos movimentos peristálticos, profilaxia a doenças infecciosas que acometam o intestino, prevenção a alguns tipos de câncer, redução dos níveis de colesterol, melhoramento do metabolismo hepático dos lipídios e da glicose sistêmica, prevenção das doenças cardiovasculares, alívio dos sintomas relacionados ao diabetes, entre outros (ANDRADE, 2010; SANTOS; VARAVALHO, 2011; JIA et al., 2023; RODRIGUES et al., 2021). Além disso, estudos promissores indicam que os probióticos possuem um potencial de diminuir o risco de desenvolvimento da doença de Alzheimer, por meio do eixo intestino-cérebro e também podem melhorar a função cognitiva (ZHU et al., 2023). No entanto, para que ocorra os efeitos benéficos no intestino, a concentração destas bactérias deve ser elevada, para que ocorra a colonização e proliferação, devendo ser superior a 10^6 UFC/g e dosagem recomendada de produtos contendo probióticos é de 100g/dia (GU et al., 2022; RASHIDINEJAD et al., 2022).

Assim como os probióticos, óleos ricos em ômega-3 são considerados alimentos funcionais, com destaque para o óleo de chia (*Salvia hispanica L.*), é um excelente precursor de ácido alfa-linolênico (18:3 n-3), em torno de 60% (GHAFOOR et al., 2020). Óleo de chia, por meio do ácido alfa-linolênico, proporciona benefícios a saúde e por esse motivo são realizados estudos de pesquisa sobre o tema. Os benefícios estudados são: auxílio no desenvolvimento e funções cerebral, redução de lipoproteínas de baixa densidade no plasma, manutenção nos sistemas imunológico, nervoso, esquelético e desenvolvimento fetal, sendo um

dos principais benefícios do alfa-linolênico a prevenção contra doenças cardiovasculares. (BOURRE et al., 2015; BLONDEAU et al., 2015; KARAGEORGOU et al., 2023; HU et al., 1999).

Embora ômega-3 e probióticos sejam essenciais para o bom funcionamento do corpo, os humanos não conseguem sintetizar quantidades suficientes, sendo necessário adquirir diariamente por meio da dieta (KARAGEORGOU et al., 2023). Porém, a introdução e a manutenção destas substâncias funcionais (probióticos e óleo de chia), são um desafio tecnológico, pois são muito sensíveis a diversos fatores extrínsecos do meio. Os probióticos são sensíveis ao oxigênio, ácido gástrico, sais biliares, temperatura, pH e enzimas digestivas, o que pode reduzir significativamente sua viabilidade (YAO et al., 2020). Da mesma forma, o óleo é sensível, é oxidado sob exposição à luz, oxigênio e alta temperatura, sendo assim, os processos de oxidação podem ser catalisados pelos fatores citados (BIELECKA et al., 2023). Dessa forma, faz-se necessário a utilização de uma tecnologia para a proteção dessas substâncias.

A microencapsulação é uma alternativa que tem se mostrado eficaz para proteção de substâncias sensíveis, criando uma barreira entre as substâncias e o meio ambiente (RAZAVI et al., 2021). A microencapsulação é um processo no qual os constituintes a serem protegidos são incorporados em uma matriz ou membrana, que tem por fim a proteção das substâncias dos fatores que possam prejudicar sua viabilidade no ambiente e controlar a taxa de liberação do encapsulado (THUEKEAW et al., 2021).

Nesta perspectiva, a aplicação de técnicas que promovam o fornecimento das bactérias probióticas em quantidades adequadas para que exerçam seus efeitos benéficos, com associação de óleo rico em ômega-3 e seus benefícios, desperta o interesse para a pesquisa científica, sendo proposta como uma alternativa de proteção dessas substâncias e aumentando sua viabilidade. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo a produção de micropartículas, bem como, a avaliação da resistência das substâncias microencapsuladas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo desse estudo foi produzir e avaliar micropartículas contendo *Lactobacillus acidophilus* e óleo de chia (*Salvia hispanica L.*) em diferentes concentrações utilizando a técnica de gelificação iônica externa.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver micropartículas de alginato contendo *Lactobacillus acidophilus* nas concentrações de 10%, 15% e 20% de óleo de chia;
- Avaliar a influência do óleo de chia em diferentes concentrações (10%, 15% e 20%) na viabilidade dos probióticos e resistência das micropartículas;
- Avaliar a distribuição de tamanho das micropartículas e a eficiência de encapsulação probiótica e do óleo;
- Avaliar a estabilidade das micropartículas frente a condições que simulem o ambiente gastrointestinal;
- Avaliar a viabilidade dos probióticos em diferentes condições de temperaturas de armazenamento (25°C, 7 ° C e -18 °C) pelo período de 90 dias de armazenamento;
- Avaliar a oxidação lipídica em diferentes condições de temperaturas de armazenamento (25 ° C, 7 ° C e -18 °C) pelo período de 90 dias de armazenamento;
- Avaliar a resistência e a viabilidade das micropartículas frente ao tratamento térmico (72 °C / 15 s e 63 °C / 30 min);

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PROBIÓTICOS

Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem benefício à saúde do hospedeiro (GUARNER et., al 2017). Porém, são advindos somente da dieta, sendo o consumo de probióticos tradicionalmente associado a alimentos lácteos fermentados, produtos lácteos, como iogurtes, leite fermentado e queijos (RANADHEERA; NAUMOVSKI; AJLOUNI, 2018). Atualmente, os alimentos que contém probióticos em sua composição, têm atraído a atenção dos consumidores devido aos benefícios à saúde associados ao seu consumo, em comparação com os produtos alimentares tradicionais

(DE LIMA; WESCHENFELDER, 2019).

Os probióticos *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* ao colonizarem o intestino humano liberam substâncias bioativas que promovem a saúde e o bem-estar ao indivíduo. Esses gêneros são constituídos por mais de 200 espécies, onde cepas foram reconhecidas como probióticos (ZHANG et al., 2022; PAPIZADEH et al., 2017). Os gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* têm sido os mais estudados e utilizados na área de alimentos probióticos nos últimos anos (RIBEIRO et al., 2014).

No entanto, a viabilidade dos probióticos pode ser afetada negativamente durante o processamento e armazenamento dos alimentos. Existem muitos fatores extrínsecos (temperatura, umidade relativa e atmosfera gasosa) e intrínsecos (nutrientes, pH, acidez e potencial de oxidação-redução) que afetam a viabilidade e estabilidade dos probióticos nos alimentos (TARIFA et al., 2021; HERNANDEZ et al., 2013). Também, para exercer sua função, é necessário que os probióticos sobrevivam às condições gastrointestinais e cheguem ao epitélio intestinal em grande número (ROLIM et al., 2020).

Os probióticos devem estar presentes em níveis superiores a 10^6 UFC/g para ter um efeito consideravelmente benéfico na saúde humana (LIU et al., 2018).

Atualmente, alguns benefícios à saúde que são atribuídos aos probióticos é a modificação da resposta imune contra doenças inflamatórias, efeito terapêutico contra depressão ou ansiedade, propriedade anti-infecciosa contra *Salmonella enterica*, melhoramento da saúde do cérebro contra doenças neurodegenerativas, modulação da disbiose da microbiota intestinal e dos déficits do eixo cérebro-intestino com melhora da disfunção cognitiva, prevenção de doença inflamatória intestinal, efeito terapêutico anti-diabetes com inflamação reduzida e melhora do perfil cardiometabólico, entre outros (ROOBAB et al., 2020; ZHU et al., 2023). Bactérias ácido-láticas inibem a adesão do patógeno ao epitélio intestinal, causando a redução de toxinas bacterianas, a síntese de substâncias antibacterianas (bacteriocinas, antibióticos) e vitaminas (MARKOWIAK, ŚLIŻEWSKA, 2017).

2.1.1 *Lactobacillus acidophilus*

O *L. acidophilus* é um bastonete gram-positivo, anaeróbio, homofermentativo, pois produz ácido lático como resultado da fermentação de diversos substratos, como carboidratos, proteínas e minerais (ANJUM et al., 2014; MOON; KANG; CHANG, 2023). A produção de ácido lático e compostos denominados bacteriocinas, são capazes de inibir bactérias patogênicas como a *E. coli*. (IBRAHEM; AL-SHAWI; AL-TEMIMI, 2024). Além disso,

podem resistir a pH inferiores a 4,0, além de a temperatura ótima de atuação se encontrar entre 35 a 40°C (ANTUNES et. al., 2007).

O *Lactobacillus acidophilus* regula a microbiota intestinal, reduz o colesterol, e também melhora a imunidade humana (YANG; HE; WU, 2021). No entanto, é muito suscetível a várias condições adversas (por exemplo, ácido gástrico e sais biliares) do trato gastrointestinal (MOON; KANG; CHANG, 2023).

O *Lactobacillus acidophilus* por ser oriundo da dieta é amplamente utilizado na indústria de alimentos para a produção de lácteos fermentados e além disso, seus benefícios à saúde são extensivamente estudados (EJTAHED et al., 2011). Alguns dos benefícios estudados sobre o prebiótico é a modificação da resposta imune contra doenças inflamatórias, efeito terapêutico contra depressão e ansiedade (ROOBAB et al., 2020).

Os probióticos são associados à produtos lácteos por ser à matriz primordial às bactérias probióticas, além disso, os derivados lácteos é um meio favorável para sobrevivência e multiplicação dos probióticos (RANADHEERA; NAUMOVSKI; AJLOUNI, 2018). Portanto, para a viabilizar os probióticos em outras fontes alimentares, a microencapsulação exerce a proteção necessária para assegurar a viabilidade dos probióticos (MENEZES et al., 2013)

2.2 ÓLEOS VEGETAIS COMESTÍVEIS

Os óleos já fazem parte da mesa dos consumidores, sendo utilizado como tempero ou para frituras.

Existem inúmeras fontes de óleos vegetais comestíveis como o óleo de girassol, abacate, semente de abóbora, arroz, linhaça, canola, chia, soja, algodão e milho. Além do mais, os óleos desempenham um valor importante a dieta nutricional (ZIA et al., 2022).

Além do alto valor nutricional, os óleos vegetais desempenham um papel relevante na redução dos riscos associados as doenças cardíacas, além de aumentar o sistema celular de defesa e tem potencial anti-inflamatório (GANESAN et al., 2018).

2.3 ÓLEO DE CHIA

A chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea pertencente à família Lamiaceae de onde fazem parte algumas ervas aromáticas muito utilizadas na culinária e o seu consumo vem aumentando nas últimas décadas, sendo considerada um alimento funcional (IXTAINA, 2012; CAPITANI, 2012).

Entretanto, o direcionamento é pra a composição lipídica do óleo de chia e seus benefícios para a saúde do consumidor. A semente de chia possui em torno de 32 – 39% de óleo, sendo uma das fontes mais rica em ácidos graxos ômega-3 entre as fontes vegetais (50-65%) como descrito na Tabela 1. As proporções incomuns de ácidos graxos poli-insaturados presentes neste óleo, são responsáveis pelo seu grande valor nutricional e terapêutico (MARTÍNEZ, et al., 2015; GAÑAN, 2020; GHAFOOR et al., 2020).

Tabela 1. Composição de ácidos graxos em óleo de sementes de chia (%).

Ácidos Graxos	Quantidade
Mirístico	0,11 ± 0,03
Palmítico	7,08 ± 0,21
Palmitoleico	0,09 ± 0,01
Esteárico	2,97 ± 0,15
Oleico	10,09 ± 0,57
Linoleico	20,57 ± 0,65
Linolênico	59,84 ± 1,76
Behenico	0,10 ± 0,03
Araquidônico	0,08 ± 0,03
Lignocérico	0,17 ± 0,05

Fonte: (GHAFOOR et al., 2020, adaptado)

Estudos mostram que o ômega-3 (n-3), que é um ácido graxo poli-insaturado (PUFA), fornece suporte energético para manter as funções dos órgãos e regula as respostas inflamatórias, a função imunológica e reduz níveis séricos da lipoproteína de baixa densidade (LDL) (CALDER, 2017 ; GUTIÉRREZ; SVAHN; JOHANSSON, 2019). Recentemente, n-3 PUFA tem sido intimamente relacionado com a minimização de processos inflamatórios, principalmente no tecido adiposo e hepático. Alguns estudos também apontam eficácia para doença coronariana, antioxidantes, hipertensão, acidente vascular cerebral e vasodilatação (KWON et al., 2020).

2.4 MICROENCAPSULAÇÃO

Vários tipos de sistemas transportadores de grau alimentício foram desenvolvidos para proteger os probióticos em alimentos até o intestino humano, incluindo emulsões, micro géis e

cápsulas (ZHANG et al., 2022). Nesse sentido, a microencapsulação vem a fim de proporcionar a proteção das bactérias.

A microencapsulação é definida como um revestimento de materiais sólidos, líquidos ou gasosos com um material à base de proteína ou carboidrato ou ambos selecionados como material de revestimento (COSTA et al., 2021).

De acordo com Fávaro-Trindade, Pinho, & Rocha (2008), essas estruturas são aplicadas com diversos objetivos, incluindo: redução da reatividade do material que está sendo encapsulado, proteção do material encapsulado contra evaporação ou perda para outro meio, para facilitar manuseio, aplicação e armazenamento do material encapsulado, para promover liberação controlada e mascarar gosto e sabor desagradáveis.

2.5 MICROENCAPSULAÇÃO DE PROBIÓTICOS

A microencapsulação de probióticos é um processo no qual as células probióticas são incorporadas em uma matriz ou membrana encapsulante para proteção e liberação em taxas controladas sob condições específicas. A micropartícula ou microcápsula formada, dependendo do método utilizado, altera a porosidade, formato da cápsula e varia o diâmetro entre alguns micrometros e 1 mm (SHORI, 2017).

Existem diferentes técnicas de microencapsulação, como métodos físicos, incluindo liofilização, secagem por pulverização, evaporação de solvente e precipitação com fluidos supercríticos. Os métodos físico-químicos incluem gelificação iônica interna e externa, coacervação complexa e spray-dryer. Além disso, a microencapsulação pode ser realizada por métodos químicos, como por complexação de inclusão molecular e polimerização interfacial (RADDATZ; MENEZES, 2021).

2.6 MICROENCAPSULAÇÃO POR GELIFICAÇÃO IÔNICA EXTERNA

A gelificação iônica externa forma partículas de gel poroso a partir de uma solução de polímero contendo o material a ser protegido, na presença de uma solução iônica constantemente agitada (ETCHEPARE et al., 2016).

Interações eletrostáticas ocorrem entre biopolímeros carregados com cargas opostas e a interação dos biopolímeros depende de fatores como relações polissacarídeo-proteína, pH, força iônica e concentração de polieletrólitos (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH,

2004; SALMINEN & WEISS, 2014).

Em geral, por meio desta técnica, podem ser produzidas micropartículas usando alginato de sódio, pectina ou carragena e sendo necessário uma solução de cloreto de cálcio (CaCl_2). Para produzir as micropartículas, o material a ser microencapsulado é primeiramente adicionado a uma solução de alginato de sódio e depois é imediatamente incorporado na forma de gotículas através de um bico atomizador de alta pressão, que irá gotejar em uma solução de CaCl_2 (0,1 M), para a solidificação por meio da gelificação iônica (LISERRE, RÉ, FRANCO, 2007; ETCHEPARE et al., 2016). Esta mistura permanece em repouso por aproximadamente 20 minutos, ou mais se for necessário, para que ocorra o endurecimento das micropartículas (CHAN; LEE; HENG, 2006; YEO; BAEK; PARK, 2001). Na Figura 1, é apresentado um esquema que ilustra a microencapsulação de bactérias por gelificação iônica externa e Figura 2, mostra o dispositivo utilizado para a produção das micropartículas em escala laboratorial.

Figura 1- Esquema do fluxo de encapsulação de bactérias por gelificação iônica externa

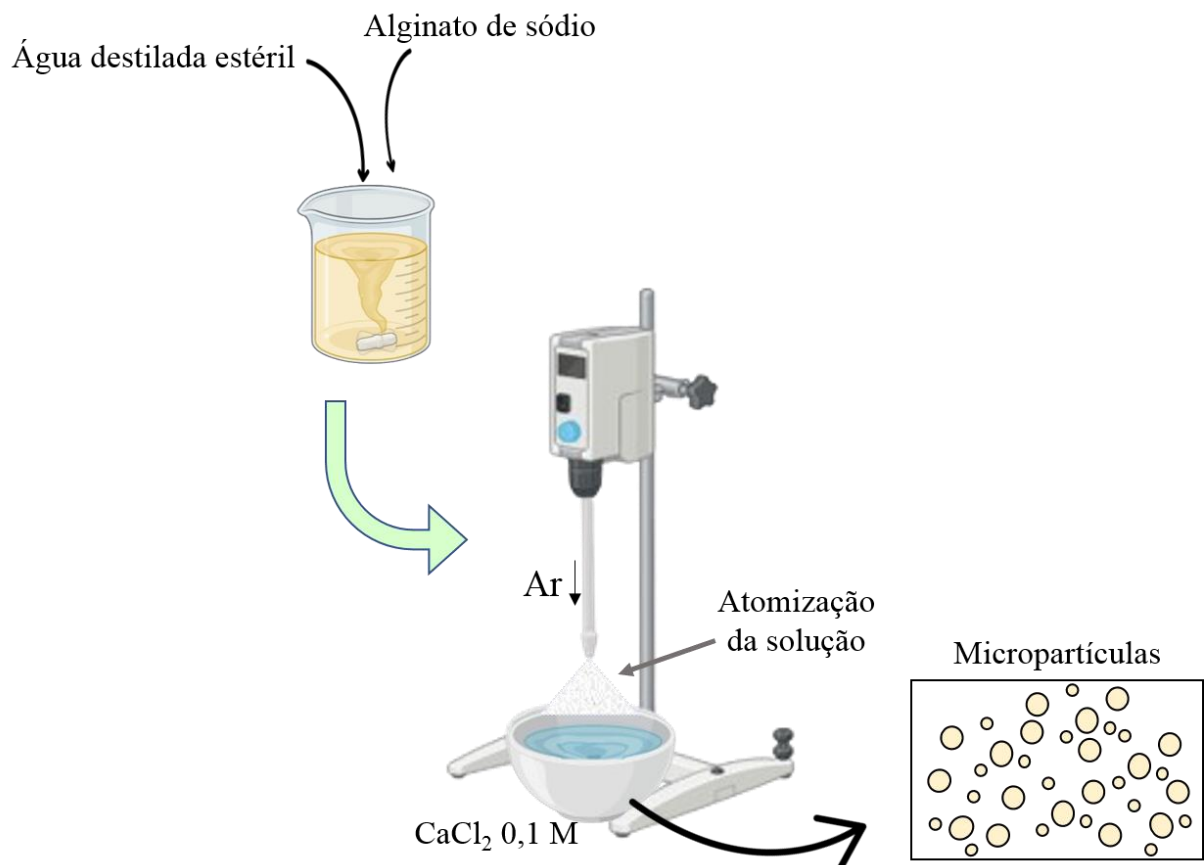
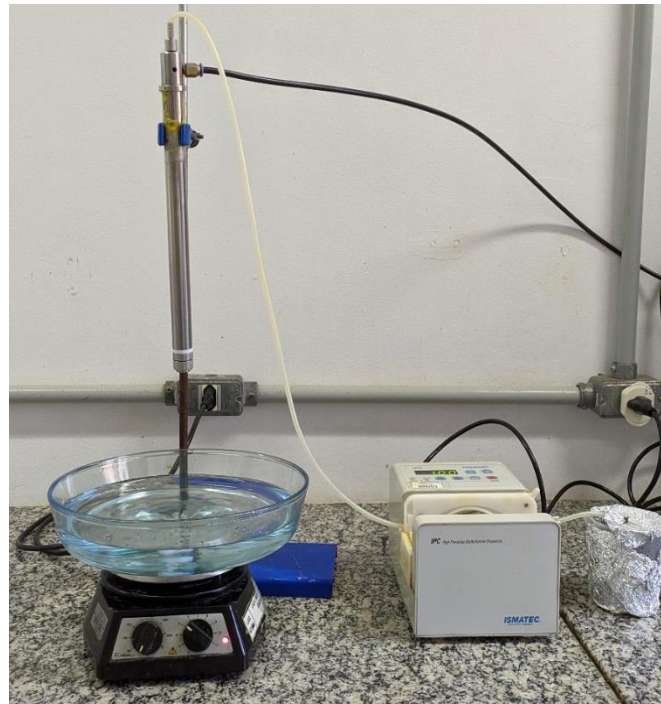


Figura 2- Sistema para obtenção de micropartículas por gelificação iônica externa

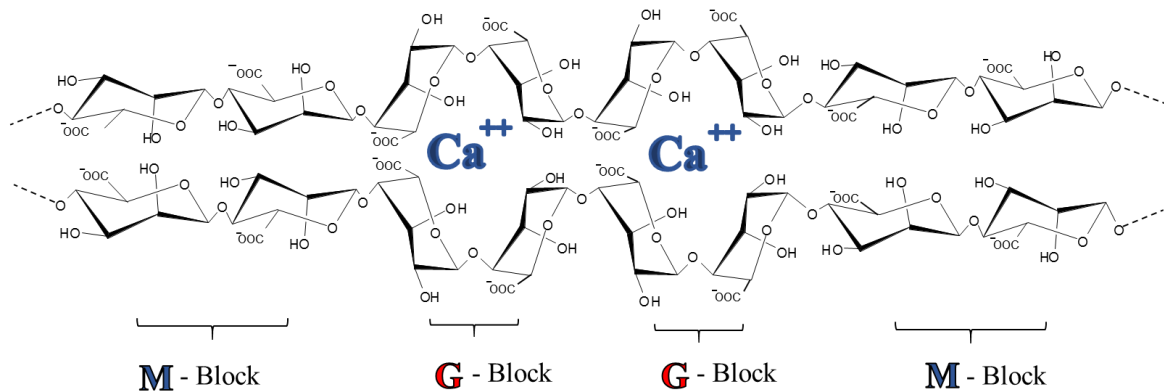


O mecanismo que ocorre no processo de gelificação é a troca iônica entre Na^+ e Ca^{2+} no momento em que a solução de alginato de sódio entra em contato com a solução contendo íons Ca^{2+} (SMRDEL et al., 2006). A constatação da gelificação completa é de grande importância para garantir a resistência do gel e resultar na formação de um gel insolúvel (TEIXEIRA et al., 2014). Uma propriedade do alginato é a formação de hidro géis reticulados, que é formado com o contato a íons cálcio localizados dentro de cavidades eletronegativas, tipo ovos dentro de uma caixa de ovos e desta semelhança surgiu o termo modelo “caixa de ovos”. As interações iônicas entre os blocos de ácido α -L-gulurônico (G) e os íons Ca^{2+} conduzem à formação da “caixa de ovos” representado na Figura 3 e assim, há a formação de um gel termoestável forte, cujas propriedades dependem largamente das características do polímero e do método de preparação. (FUNDUEANU et al., 1999).

A tecnologia de imobilização como a microencapsulação por gelificação iônica externa é amplamente difundida, com o intuito de melhorar a resistência das substâncias protegidas. E

apresenta condições simples e acessíveis para a produção de micropartículas, tem um baixo custo, versatilidade do modo de operação por não utilizar altas temperatura que prejudica os probióticos e nem solventes. (RIBEIRO et al., 2014; BUDIN et al., 2023).

Figura 3- Modelo "caixa de ovos" para formação de gel de alginato com íons cálcio.



As partículas produzidas pela gelificação iônica externa normalmente apresentam diâmetros que podem variar de e 0,2 μm a 5 mm (SILVA et al., 2014), sendo que o tamanho das partículas variam conforme o diâmetro do bico para a aspersão da solução, pressão de ar e distância entre o bico e a solução de cloreto de cálcio (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH, 2003).

2.6.1 Alginato de sódio

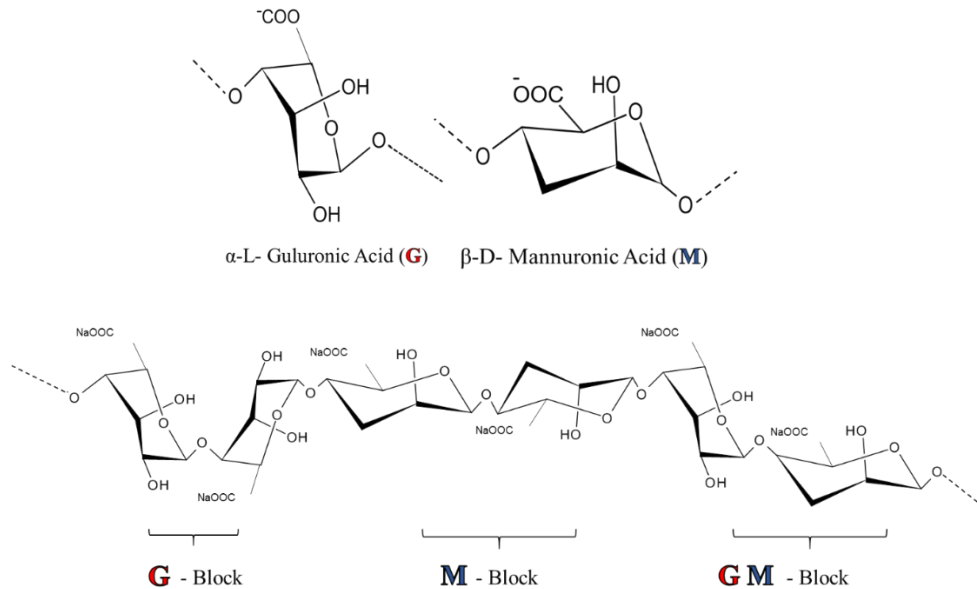
O alginato de sódio é um polímero extraído naturalmente de tipos de algas, solúvel em água e é utilizado em muitos países como aditivo alimentar por ser um agente seguro e não tóxico (YERRAMATHI et al., 2023).

Os alginatos normalmente existem como cadeias homo e heteropoliméricas lineares (não ramificadas) compostas por ácido β -D-manurônico (M) e ácido α -L-gulurônico (G) ligados em unidades MM/GG ou MG/GM através de ligações glicosídicas (1 \rightarrow 4), conforme mostrado na Figura 4.

Na presença de íons cálcio (Ca^{2+}), o alginato forma um hidro gel, principalmente os blocos G de ácido α -L-gulurônico, representado na Figura 4, e assim, a conformação das redes

da reticulação são chamadas de “caixa de ovos” pelo formato que as ligações apresentam, demonstrado na Figura 3.

Figura 4 - Estrutura química do alginato de sódio.



2.7 MICROENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS COMESTÍVEIS

A adição do óleo diretamente aos alimentos possui várias desvantagens, pois os óleos são facilmente degradados ao contato com o oxigênio, luz e temperatura, sendo assim necessário, utilizar uma forma de proteção às diversidades do meio (BIELECKA et al., 2023). A microencapsulação vem ao encontro, como a tecnologia que tem sido utilizada para superar as dificuldades encontradas, sendo o método de gelificação iônica mais adequado, em razão de que esta apresenta condições brandas de processamento (BEYKI et al., 2014; CARDOSO, 2019).

A microencapsulação é uma técnica eficiente para aumentar a estabilidade oxidativa e para impedir a degradação térmica dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), presentes em óleos com altos teores de n-3, como é o caso do óleo de chia (BAKRY et al., 2016).

De tal modo, a microencapsulação por gelificação iônica externa pode ser útil para

incorporar óleos vegetais com altos teores de n-3 PUFA's em alimentos sem comprometer sua qualidade tecnológica e sensorial. Além disso, a simplicidade do método, o baixo custo e a não utilização de solventes, sendo uma técnica verde, são as principais vantagens de se produzir micropartículas por gelificação iônica externa usando alginato de sódio como material encapsulante (IKEDA; TAKEMURA; ONO, 2000).

No trabalho de HECK et al. (2017), foi realizada a microencapsulação de óleo de chia e linhaça pela metodologia de gelificação iônica externa, onde foi avaliada a passagem das micropartículas contendo os óleos pelo processamento térmico, e foi observado que a microencapsulação manteve os óleos com lenta progressão da oxidação em relação ao controle. Em outro trabalho de Somacal et al. (2022), onde foi microencapsulado óleo de origem fúngica pela metodologia de gelificação iônica externa, e avaliou a estabilidade do óleo microencapsulado; por fim, foi observado que o óleo microencapsulado permaneceu com a oxidação lipídica menor que o controle. Resultados que corroboram a importância da utilização da microencapsulação para proteção do óleo frente a oxidação lipídica.

Em outros trabalhos, é utilizada a microencapsulação do óleo juntamente com bactérias probióticas trabalho. Um dos trabalhos avaliando essa união é o trabalho de LULWAH et al. (2016), onde foi encapsulado *Lactobacillus plantarum* com adição de diferentes materiais, entre eles foi adicionado óleo de canola e azeite de oliva pela técnica de gelificação iônica e assim, foi avaliada a viabilidade durante o armazenamento a 4°C por 17 horas frente ao teste térmico a 63°C por 0, 15 e 30 minutos, onde foi observado que houve viabilidade do probiótico nas cápsulas com óleo ao final dos testes aplicados. Sendo assim, a microencapsulação juntamente com o emprego de óleo comestível é um fator que tem a possibilidade de proteger os probióticos e assim melhorar a viabilidade.

MANUSCRITO 1**Co-encapsulação de probióticos e óleo polifuncional (óleo de chia): Produção e efeitos
para a saúde**

Este trabalho está em fase de revisão para ser submetido à revista Ciência Rural (qualis A4)

1 **Co-encapsulação de probióticos e óleo polifuncional (óleo de chia): Produção e efeitos**
2 **para a saúde**

3
4 **Co-encapsulation of probiotics and polyfunctional oil (chia oil): Production and**
5 **effects on health**

6
7 **Vandré Sonza Pinto^{1*} Cristiano Ragagnin Menezes¹**

8 **ABSTRACT**

9 Consumer demand for foods with potential health benefits is a fast-growing reality around the world.
10 Foods that not only provide the body with energy, but also with bioactive compounds, which, when
11 consumed correctly, confer various benefits on human well-being. Foods rich in compounds that are
12 essential to the body, such as omega-3 fatty acids, carotenoids, prebiotics and probiotics, are found in
13 select food groups, each with their own particularities of stability. In order to enrich foods, the
14 application of these compounds added to foods commonly consumed by the population is an alternative
15 for consumption. However, the accessibility of these compounds is compromised by natural factors that
16 can reduce their absorption and viability in the body. The microencapsulation of bioactive compounds
17 is an alternative for prolonging and improving viability in the face of malfunctions found in the
18 environment and in the human gastrointestinal system. The aim of this study is to review current work
19 on the benefits of some functional foods, focusing mainly on oils rich in omegas, especially chia oil
20 (*Salvia hispanica L.*), and probiotics (*Lactobacillus acidophilus*), and their themes in the field of
21 research.

22 **Keywords:** Functional foods, probiotics, chia oil and microencapsulation.

23 ¹Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM,
24 Brasil

25
¹Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM,
Brasil

1 **RESUMO**

2 A demanda de alimentos com potenciais benefícios a saúde pelos consumidores, é uma
3 realidade em elevado crescimento no mundo. Alimentos, que além de fornecerem energia ao
4 corpo, fornecem substâncias bioativas, que consumidos de maneira correta, conferem diversos
5 benefícios ao bem-estar humano. Alimentos ricos em substâncias essenciais ao organismo,
6 como os ácidos graxos ômega-3, carotenoides, prebióticos e probióticos são encontrados em
7 seletos grupos alimentícios, cada um com suas relevantes particularidades de estabilidade. A
8 fim de enriquecer os alimentos, a aplicação destas substâncias adicionadas em alimentos
9 comumente consumidos pela população são uma alternativa de consumo bastante promissora.
10 Porém, a acessibilidade das substâncias é comprometida por meio de fatores que podem reduzir
11 sua absorção e viabilidade ao organismo. A microencapsulação de substâncias bioativos é uma
12 alternativa para prolongar e aprimorar a viabilidade frente às avarias encontradas no ambiente
13 e no sistema gastrointestinal dos humanos. No presente trabalho, o objetivo é fazer uma revisão
14 em atuais trabalhos sobre os benefícios de alguns alimentos funcionais, voltado principalmente
15 para óleos ricos em ômegas, principalmente óleo de chia (*Salvia hispanica L.*), e probióticos
16 (*Lactobacillus acidophilus*), e suas temáticas no meio da pesquisa, além de estudos sobre a
17 microencapsulação de ambas substâncias .

18 **Palavras-chave:** Alimentos funcionais, probióticos, ômega 3 e microencapsulação.

1 INTRODUÇÃO

2 O número populacional de seres humanos vem aumentando ano após ano, chegando
3 à casa de 8 bilhões de pessoas segundo as Organizações das Nações Unidas, divulgado no
4 último ano (ONU, 2022). Com o aumento populacional no planeta, a demanda por alimentos
5 com a apelo à saudabilidade está em ascendência, e a preocupação com a saúde e bem-estar
6 vem sendo uma prioridade para a maioria dos consumidores, assim, cresce a procura por
7 alimentos que contribuam positivamente para a saúde do consumidor. Atualmente, a
8 disponibilidade de alimentos com apelos saudáveis está em amplo crescimento, pois o mercado
9 e indústria tem observado essa necessidade e está em processo de adaptação de seus produtos,
10 utilizando formas de agregar saudabilidade aos alimentos. Uma das maneiras de enriquecer os
11 alimentos é adicionar substâncias funcionais que contribuam com o bom funcionamento do
12 organismo (LIMA, et al., 2020; MYAZAKI et al., 2020).

13 Nesse sentido, muitos nutrientes essenciais podem ser adicionados a formulações dos
14 alimentos como vitaminas, minerais, óleos com ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa
15 (PUFAs), carboidratos e agentes que auxiliem na absorção desses nutrientes, também na
16 profilaxia de doenças como os probióticos (HECK et al., 2021).

17 Sendo assim, uma das alternativas para aplicação na indústria e que auxilie na demanda
18 dos consumidores, é utilizar as substâncias funcionais nos alimentos, além da necessidade de
19 uma técnica que proteja os constituintes. Com isso, uma alternativa de enriquecimento é a
20 possibilidade da adição dos probióticos, que são bactérias benéficas ao organismo humano, e
21 óleo de sementes de chia (*Salvia hispanica L.*), rico em ácido graxo alfa-linolênico, vulgo,
22 ômega-3 (HECK et al., 2021; MISRA et al., 2021).

23 Os óleos poli-insaturados são mais sensíveis a oxidação lipídica através da luz,
24 temperatura e oxigênio, assim como os probióticos são suscetíveis à diminuição da viabilidade
25 por meio de diferenças de pH, principalmente para o ácido e altas temperaturas (DU et al.,

1 2022). Sendo assim, para a proteção frente ao meio, ao tratamento térmico, sistema gástrico, a
2 microencapsulação é uma metodologia de grande potencial para aplicação em substâncias que
3 na forma livre, ocorre a degradação, e a microencapsulação exerce essa proteção, além da
4 liberação controlada no organismo (MARTÍN et al., 2015; MENEZES et al., 2013).

5 O objetivo desta revisão é explorar as atuais informações disponíveis sobre os potenciais
6 benefícios das substâncias bioativas focados aos probióticos e o óleo de chia, além de
7 micropartículas contendo cultura probiótica, associado com óleo de chia e a pesquisa de trabalhos
8 relacionados aos óleos ricos ácidos graxos, ômega e probióticos.

9

10 *Alimentos funcionais*

11 A definição de alimentos funcionais foi primeiramente apresentada em meados de 1980,
12 no Japão, para alimentos empregados na dieta cotidiana com benefícios fisiológicos, além de
13 suas funções nutricionais (COSTA; ROSA, 2016). Alimentos funcionais podem ser
14 conceituados como alimentos ou bebidas que possuem nutrientes reforçados, como vitaminas,
15 fibras, proteína, minerais, microrganismos e outros componentes que tenham uma finalidade
16 funcional (FARID et al., 2019).

17 Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, alimentos
18 funcionais são definidos basicamente, como um alimento que proporciona benefícios à saúde
19 além da nutrição básica, demonstram benefícios específicos à saúde, incluindo a prevenção de
20 doenças, além de alimentos processados que contêm ingredientes que auxiliem na função
21 corporal, além de ofertar nutrição ao organismo (FAO, 2018).

22 E além disso, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária brasileira, esclarece que para a
23 aplicação em alimentos, as substâncias dos alimentos funcionais que propiciam os benefícios
24 devem ter a comprovação da alegação das propriedades funcionais que devem ser conduzidas
25 com base em evidência científica (ANVISA, 1999^a; PEDROSA, 2015).

1 A crescente conscientização em relação aos produtos alimentícios funcionais, com o
2 poder de realizar potenciais benefícios à saúde, tem se concentrado na incorporação
3 de substâncias bioativas em alimentos como uma suplementação para acrescentar componentes
4 aos alimentos (CHAWDA et al., 2017). Os alimentos possuem grandes variedades de nutrientes
5 e sais minerais importantes para a nutrição humana, além disso, os alimentos possuem
6 componentes que o fazem ser funcionais, como ácidos graxos ômega-3,
7 carotenoides, prebióticos e probióticos (ANVISA, 2002; QIAO et al, 2022).

8 Substâncias antioxidantes são comumente encontrados em muitos produtos vegetais,
9 como frutas, grãos, folhas, raízes entre outros (ISHTIAQ et al, 2022). Fazendo parte dos
10 alimentos funcionais estão as substâncias bioativas, que são voltadas para promoção e
11 manutenção da saúde, tendo diversos benefícios como alguns descritos na Tabela 1. Os
12 antioxidantes são compostos que protegem as células dos danos formados pelos radicais livres,
13 eles atuam inibindo a iniciação ou propagação formação de radicais livres, assim, prevenindo
14 danos que possa interferir na expressão genética (KUMAR; NAIR; KUMAR, 2023).

Tabela 1- Potenciais benefícios de substâncias bioativas funcionais encontradas na literatura

SUBSTÂNCIA	BENEFÍCIO	REFERÊNCIA
Ácido graxo α -linolênico (ALA)	O consumo de óleo de chia durante a gravidez aumento transitoriamente o teor de ácido α -linolênico (ALA) no leite materno durante a gestação.	VALENZUELA, et al., 2015
Carotenoides: zeaxantina, luteína e β -criptoxantina	Regulação da a degeneração macular ligada à idade.	BENKE; et al, 2014
Carotenoides	Prevenção de cataratas.	COOPERSTONE; SCHWARTZ, 2016
Carotenoide: licopeno, retinol	Auxílio na cicatrização de feridas.	ZINDER, et al, 2019
Flavonoides	Prevenção do envelhecimento e a redução da incidência de doenças crônicas não transmissíveis, como as neurodegenerativas, as cardiovasculares ou o câncer.	SALGADO, 2017
Flavonoides	Redução do risco de desenvolvimento da doença de Parkinson.	SALGADO, 2017
Ômega-3	Redução de sintomas e progressão da doença de Alzheimer.	NOLAN et al., 2022
Ômega-3	Prevenção e tratamento de doenças crônicas, incluindo doenças aterogênicas e renais.	SOHOULI, et al., 2022
Probióticos	Previnem doenças cardiovasculares	JIA et al., 2023
Probióticos	Melhoramento do metabolismo hepático dos lipídios e da glicose sistêmica	SANTOS; VARAVALHO, 2011
Probióticos	Aliviam sintomas relacionados ao diabetes	RODRIGUES et al., 2021

1 *Ácido graxo ômega 3*

2 A maioria dos ácidos graxos de ocorrência natural contém uma cadeia com um número
3 par de átomos de carbono, variando de 4 a 28 (KIMURA et al., 2020).

4 Os ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), são essenciais para o metabolismo,
5 crescimento e desenvolvimento do corpo, uma vez que desempenham um papel importante na
6 regulação do organismo (CHIEN et al., 2000).

7 Os ácidos graxos ômega-3 (n-3), são considerados essenciais porque os seres humanos
8 não podem sintetizá-los e, portanto, devem vir da dieta diária (MARTIN et al., 2006).

9 Embora os organismos marinhos sejam a principal fonte de PUFAs n-3, algumas
10 sementes de plantas também os contêm. Por exemplo, as sementes de linhaça, canola e chia são
11 boas fontes de ácido graxo alfa-linolênico (ALA), que serve como precursor da síntese de
12 PUFAs n-3 no corpo humano (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2018).

13 Os PUFAs n-3 exercem inúmeros benefícios à saúde contra doenças cardiovasculares
14 (fibrilação atrial, aterosclerose, trombose, inflamação e morte súbita cardíaca), diabetes, câncer,
15 depressão e várias doenças mentais, declínio cognitivo relacionado à idade, antioxidante,
16 diabetes, reduz o colesterol LDL e artrite reumatoide (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2018;
17 SALA-VILA et al., 2022).

18 Uma das alternativas é enriquecer alimentos adicionando óleos com alto teor de PUFAs
19 n-3, para atender os consumidores por outras fontes alimentares (HECK et al., 2017).

20

21 *Probióticos*

22 Os probióticos são microrganismos vivos que, quando administrados em quantidades
23 adequadas, conferem benefício à saúde do hospedeiro, além de melhorar o equilíbrio
24 microbiológico intestinal produzindo efeitos benéficos à saúde do indivíduo (GUARNER et al.,
25 2017; FAO, 2006).

1 A entrega de probióticos a humanos tem sido tradicionalmente associada a alimentos
2 lácteos fermentados, produtos lácteos, como iogurtes, leite fermentado e queijos
3 (RANADHEERA; NAUMOVSKI; AJLOUNI, 2018).

4 Atualmente, os alimentos que contêm bactérias probióticas têm atraído a atenção devido
5 à ampla gama de benefícios à saúde associados ao seu consumo, em comparação com os
6 produtos alimentares tradicionais (DE LIMA; WESCHENFELDER, 2019). No entanto, há uma
7 lacuna na ampla oferta de alimentos com probióticos ao consumidor.

8 Os probióticos comestíveis como *Lactobacillus* e *Bifidobacterium* colonizam o intestino
9 humano e secretam substâncias bioativas benéficas, que promovem a saúde e o bem-estar
10 humanos. Esses gêneros são constituídos por mais de 200 espécies, entre as quais muitas cepas
11 foram reconhecidas como probióticos, além disso, são as cepas mais utilizadas em estudos nos
12 últimos anos (ZHANG et al., 2022; PAPIZADEH et al., 2017; RIBEIRO et al., 2014).

13 No entanto, a viabilidade das células probióticas pode ser afetada negativamente durante
14 o processamento e armazenamento de alimentos. Existem muitos fatores extrínsecos
15 (temperatura, umidade relativa e gases atmosféricos) e intrínsecos (nutrientes, pH, acidez e
16 potencial de oxidação-redução) que afetam a viabilidade e estabilidade dos probióticos em
17 alimentos transportadores (TARIFA et al., 2021; HERNANDEZ et al., 2013). Além disso, é
18 necessário que os probióticos sobrevivam às condições gastrointestinais e cheguem ao epitélio
19 intestinal em grande número (ROLIM et al., 2020).

20 Atualmente, alguns benefícios à saúde que são atribuídos aos probióticos são a
21 modificação da resposta imune contra doenças inflamatórias, efeito terapêutico contra
22 depressão ou ansiedade, propriedade anti-infecciosa contra *Salmonella enterica*, melhoramento
23 da saúde do cérebro contra doenças neurodegenerativas, modulação da disbiose da microbiota
24 intestinal e dos déficits do eixo cérebro-intestino com melhora da disfunção cognitiva,
25 prevenção de doença inflamatória intestinal, efeito terapêutico anti-diabetes com inflamação

1 reduzida e melhora do perfil cardiometabólico, entre outros (ROOBAB et al., 2020). Bactérias
2 ácido-láticas inibem a adesão do patógeno ao epitélio intestinal, causando a redução de toxinas
3 bacterianas, a síntese de substâncias antibacterianas (bacteriocinas, antibióticos) e vitaminas
4 (MARKOWIAK, ŚLIŻEWSKA, 2017).

5 O mercado voltado para probióticos tem atraído a atenção da indústria alimentícia para a
6 produção de novos produtos contendo probióticos, além de estudos e pesquisas na área
7 acadêmica sobre as características e benefícios a saúde humana atribuída aos probióticos
8 (BEHERA; PANDA, 2020). Sendo assim, a microencapsulação é uma alternativa para a
9 proteção da viabilidade dos microorganismos benéficos até o intestino, para a aplicação em
10 determinados alimentos, além de assegurar a viabilidade referente ao tempo de armazenamento
11 dos produtos e durante a passagem pelo trato gastrointestinal (MARTÍN et al., 2015).

12

13 *Lactobacillus acidophilus*

14 O *Lactobacillus acidophilus* é um importante probiótico intestinal da família das bactérias
15 do ácido láctico (BAL), sendo um probiótico bacteriano comercialmente significativo,
16 originalmente isolado do trato gastrointestinal humano e denominado *Bacillus acidophilus* em
17 1900. O *Lactobacillus acidophilus* é de grande destaque em termos de pesquisa e
18 desenvolvimento, especialmente por estar tão intimamente ligado à saúde humana (BULL et
19 al., 2013; GAO et al., 2022).

20 O *Lactobacillus acidophilus* é um bacilo gram-positivo que não forma esporos, apresenta
21 formato como bastões alongados e medem de 2-10 µm de comprimento. A temperatura ótima
22 de cultivo é geralmente de 35 a 38°C, tem baixa resistência ao calor excessivo e seu pH ótimo
23 é de 5,5 a 6,0. A maioria das cepas de *Lactobacillus acidophilus* são bactérias anaeróbias, com
24 melhor crescimento em meio com pouco oxigênio, ou em 5~10% de CO₂ (ALTERMANN et
25 al., 2005; GAO et al., 2022; AZCARATE-PERIL et al., 2004).

1 Em trabalhos pesquisados, os resultados indicaram que a utilização de *Lactobacillus*
2 *acidophilus* é uma estratégia promissora para o tratamento da colite ulcerosa, promovendo a
3 mitigação da colite induzida, que está associada ao aumento da carga de *Lactobacillus*
4 *acidophilus* e produção de acetato (WANG et al., 2020).

5 Outro trabalho afirma a redução na intensidade da dor abdominal causada pela síndrome
6 do intestino irritável após a ingestão de células de *Lactobacillus acidophilus* além da
7 normalização dos hábitos intestinais (MARTONI; SRIVASTAVA; LEYER, 2020).

8 Segundo Li et al., (2019), o *Lactobacillus acidophilus* combinado com *Bifidobacterium*
9 *animalis* subsp. *lactis* apresentou resultados relevantes na atividade anti-inflamatória perante a
10 doença inflamatória intestinal, atuando nas células epiteliais do intestino.

11 Estudos clínicos recentes mostraram que tratamentos com probióticos podem prover
12 melhorias em algumas anormalidades comportamentais associadas aos Transtornos do Espectro
13 do Autismo, por meio da regulação da microbiota intestinal acarretando a modulação do eixo
14 cérebro-intestino (CAULI et al., 2022).

15 Portanto, a utilização do *Lactobacillus acidophilus* para consumo humano e para a
16 pesquisa é de extrema relevância, considerando a sua utilização para fins de benefícios a saúde
17 do hospedeiro.

18

19 *Óleos funcionais*

20 Nos últimos anos, a demanda pelo consumo de óleos vegetais tem aumentado, assim
21 como sua procura para fins domésticos e industriais. Os óleos vegetais têm propriedades físico-
22 químicas específicas que desempenham um papel vital na dieta nutricional humana em
23 benefício à saúde (ZIA et al., 2022). Recentes pesquisas relatam que os ácidos insaturados
24 nutricionais desempenham um papel relevante na redução dos riscos associados a doenças como
25 asma, doenças cardiovasculares, câncer e diabetes. Além de habilidades para aumentar o

1 sistema celular de defesa, ação antioxidante reduzindo os radicais livres do organismo,
2 potencial anti-inflamatório e proteção do sistema cardiovascular contra vários efeitos adversos
3 (GANESAN et al., 2018).

4 Existem os inúmeros óleos disponíveis comercialmente, como óleo de girassol, abacate,
5 semente de abóbora, arroz, linhaça, canola, chia, entre outros, todos com a presença de ácidos
6 graxos ômega.

7 No mercado, são encontrados óleos com variados ácidos graxos pertencentes aos ácidos
8 graxos ômega. Um dos exemplos é o óleo de linhaça, que contém majoritariamente o ácido
9 graxo α -linolênico n-3 (42,4%), linoleico n-6 (26,2%) (ISHAG et al., 2020). O óleo de
10 abacate, além de possuir benefícios para uso culinário, é composto por ácidos graxos ômega,
11 segundo o trabalho de TAN, (2019) é encontrado ácido graxo linoleico n-6 (15,15%) e oleico
12 n-9 (67,69). O óleo de canola é caracterizado pelos ácidos graxos, oleico n-9 (53,08%), ácido
13 linoleico n-6 (23,2%), α -linolênico n-3 (8,6%) (RUYTER, 2022). O óleo de girassol é
14 composto pelos ácidos graxos oleico n-9 (14%) e linoleico n-6 (44%), na maioria das cultivares
15 produzidas no mundo (AKKAYA, 2018). Os próximos óleos possuem estudos recentes, pois,
16 pela matéria prima se tratar de um resíduo é uma alternativa de aproveitar uma demanda
17 industrial, que associa a benefícios para saúde por meio das PUFAs. O óleo da semente de
18 abóbora contém em sua composição, ácido linoleico n-6 (35,6–60,8%), oleico n-9 (21,0–
19 46,9%), ácido palmítico (9,5–14,5%) (SINGH; KUMAR, 2023). O óleo extraído das sementes
20 de uva possui oleico n-9 (14,3%), linoleico n-6 (74,7%) e α -linolênico n-3 (0,15%) (YANG et
21 al., 2021).

22

23 *Óleo de chia*

24 A chia (*Salvia hispanica L.*) é uma planta herbácea pertencente à família Lamiaceae de
25 onde fazem parte algumas ervas aromáticas muito utilizadas na culinária, e o seu consumo vem

1 aumentando nas últimas décadas, além de ser considerada um alimento funcional (IXTAINA,
2 2012; CAPITANI, 2012).

3 O óleo de semente de chia e produtos demonstram potencial bioativo, que por meio do
4 uso regular, pode mitigar o risco de doenças crônicas, devido aos efeitos antioxidantes e anti-
5 inflamatórios em estudos laboratoriais. Entretanto, em relação aos ensaios clínicos em humanos
6 ainda faltam mais informações sobre referência à segurança, possíveis efeitos colaterais e
7 mecanismo de ação de suas biomoléculas e, com base nesses estudos, recomendações
8 adequadas para o uso de produtos e óleo de semente de chia precisam ser fornecidas (ENES et
9 al., 2020; GHAFOR et al., 2020).

10 Entretanto, o direcionamento é para a composição lipídica do óleo de chia e seus
11 benefícios para a saúde do consumidor. A concentração de ácidos graxos insaturados
12 pertencentes ao óleo de chia é amplamente conhecido, sendo eles majoritariamente os
13 respectivos ácidos graxos, α -linolênico, linoleico e oleico. Porém, a sua presença é diferente
14 considerando o local de plantio da chia, dessa forma, apresentando valores diferentes nos
15 trabalhos publicados, em que os autores encontraram diferentes teores de ácidos graxos
16 majoritários no óleo de chia, primeiramente, FERNANDES et al. (2019) encontrou 68% de α -
17 linolênico, 19,26% de linoleico e 7,34% de oleico, os autores BRANDÁN; IZQUIERDO;
18 ACRECHE, (2022) obtiveram os resultados de 60,85% para o α -linolênico, 19,75% para o
19 linoleico e 7,9% para o oleico, já TAK et al. (2022), obteve 63,79% de α -linolênico, 60,78%
20 de linoleico e 12,01% de ácido graxo oleico.

21 As proporções dessemelhantes de ácidos graxos poli-insaturados presentes neste óleo, são
22 responsáveis pelo seu grande valor nutricional e terapêutico (MARTÍNEZ, et al., 2015;
23 GAÑAN, 2020; GHAFOR et al., 2020).

24 É amplamente conhecido que, embora os PUFAs n-3 tenham uma alta atividade
25 biológica, o grau de insaturação está positivamente correlacionada com a taxa de oxidação

1 lipídica, sendo assim, os PUFAs n-3 de cadeia longa são especialmente mais suscetíveis à
2 oxidação (DU et.al, 2022).

3 Portanto, devido ao seu alto teor de PUFA, o óleo de semente de chia é suscetível a
4 deteriorações oxidativas decorrentes de fatores ambientais e de armazenamento, como calor,
5 umidade, ação de enzimas, luz sendo fotossensível, atuando como obstáculos para a
6 incorporação nos alimentos (FIRTIN et al., 2020; WANG et al., 2021).

7 A oxidação lipídica pode ser retardada por diferentes fatores, como embalagem e
8 atmosfera modificada. Além disso, duas estratégias que poderiam mitigar essas limitações são
9 a adição de uma substância com função antioxidante e a microencapsulação (COMUNIAN et
10 al., 2016).

11

12 *Microencapsulação*

13 A microencapsulação é uma técnica que constitui no envolvimento de pequenas partículas
14 sólidas, gotículas líquidas ou gases em um revestimento, que pode ser usado para proteger,
15 transportar e uma função específica de controlar a liberação de substâncias ativas (NAZZARO
16 et al., 2012).

17 Existem diferentes técnicas utilizadas para microencapsular, dividido em métodos físicos
18 (extrusão, *spray drying*, *spray chilling* e *spray cooling*, leite fluidizado, co-cristalização e a
19 liofilização), métodos químicos (polimerização interfacial, inclusão molecular e polimerização
20 *in situ*) e métodos físico-químicos (coacervação, lipossomas, lipoesferas, evaporação de
21 solvente) (SAIFULLAH et al., 2019).

22 Para MENEZES et al. (2013), inúmeras vantagens estão relacionadas à
23 microencapsulação, como estabilizar o material encapsulado, controlar reações oxidativas,
24 liberar o material ativo de forma controlada, reduzir a toxicidade do material ativo, prolongar a
25 vida útil e proteger compostos de valor nutricional.

1 As micropartículas tem diâmetro na faixa de 1 a 1.000 μm (HOGENBOM et al., 2021)

2 Uma das maiores vantagens da microencapsulação é o controle de liberação dos
3 constituintes ao longo do sistema gastrointestinal, sendo importante para a viabilidade dos
4 microrganismos e substâncias bioativas até o local desejado, assim, promovendo os benefícios
5 à saúde do consumidor (BURGAIN et al., 2011). Para isso, segundo MUKAI-CORRÊA, (2008)
6 a liberação controlada do material encapsulado pode ocorrer por ruptura mecânica, temperatura,
7 pH ou solubilidade do meio, por biodegradação ou por difusão.

8 Além disso, um parâmetro crucial para o desenvolvimento das micropartículas é o seu
9 tamanho, pois, se for com tamanho de partícula elevado, será perceptível no paladar a textura e
10 assim, limitar a utilização em uma gama de alimentos (SILVA et al., 2014). Segundo o mesmo
11 autor, as partículas ou cápsulas podem ser classificadas de acordo com o seu tamanho em
12 macropartículas ($>1.000 \mu\text{m}$), micropartículas ($0,2$ a $1.000 \mu\text{m}$) e nanopartículas ($<0.2 \mu\text{m}$)
13 (SILVA et al., 2014).

14

15 *Microencapsulação de probióticos*

16 É interessante que os probióticos microencapsulados sejam adicionados a produtos
17 alimentícios com maior probabilidade de consumo, ao invés de suplementos dietéticos. Alguns
18 produtos como queijo (EL SAYED; MABROUK, 2023), iogurte (SEKHAVATIZADEH et al.,
19 2023), sucos (MARQUES DA SILVA et al., 2021) e polpa de frutas (RADDATZ et al., 2022)
20 são alimentos que a adição dos probióticos microencapsulados foram estudados. Embora esses
21 produtos sirvam como um bom ambiente para bactérias probióticas, eles podem causar uma
22 redução em sua viabilidade na forma livre, devido a exposição das células probióticas à fatores
23 extrínsecos que prejudicam a viabilidade. Para WANG et al. (2018), a microencapsulação
24 aumentou o número de células bacterianas viáveis atingindo o intestino grosso de 10^4 UFC/mL
25 para 10^6 UFC/mL, após o consumo de iogurte armazenado por 70 dias. Recentemente, a

1 pesquisa sobre novas formulações e de metodologias de microencapsulação, bem como sua
2 aplicação em alimentos, apresenta um crescimento significativo. Alguns trabalhos envolvendo
3 a aplicação das micropartículas foram estudados em alimentos alternativos e tradicionais, como
4 abordado a seguir.

5 Quando falamos em alimentos com bactérias lácticas, logo pensamos em derivados do
6 leite. A aplicação de probióticos microencapsulados em queijo é uma alternativa para o
7 mercado. Assim, foi estudado em queijo, com aplicação das micropartículas de alginato de
8 sódio, farinha de arroz e bactéria *Bifidobacterium lactis*, onde foi obtido viabilidade superior
9 da bactéria encapsulada em relação ao controle, no período de armazenamento e não alterou
10 sensorialmente o produto (EL SAYED; MABROUK, 2023).

11 Também, assim como o queijo, iogurte é uma forma de adição das cápsulas probióticas
12 para consumo, como apresenta o trabalho que utilizou *Lactobacillus plantarum* encapsulado
13 juntamente com mucilagem de quiabo e aplicado em iogurte, obtendo resultados favoráveis em
14 relação ao controle nos quesitos de viabilidade durante armazenamento, resistência térmica e
15 resistência gastrointestinal, favorecendo a aplicação no iogurte (SEKHAVATIZADEH et al.,
16 2023).

17 Ao pensarmos em alimentos livre de lácteos, que atenda públicos veganos e intolerantes
18 à lactose, há estudos em aplicação em sucos de fruta, onde foi adicionado micropartículas
19 contendo a bactéria probiótica *Lactobacillus acidophilus* obtidas por coacervação complexa
20 associada à reticulação com transglutaminase em sucos de laranja e maçã, avaliando a
21 viabilidade do mesmo, onde foi observado que os probióticos microencapsulados apresentaram
22 alta viabilidade em relação a bactéria sem microencapsular durante o tempo de armazenamento
23 e além disso, não houve alteração nos atributos sensoriais, com isso, corroborando à aplicação
24 dos probióticos encapsulados nos alimentos (MARQUES DA SILVA et al., 2021).

25 Seguindo nesta perspectiva de consumo, também há utilização das micropartículas

1 probióticas em polpas de frutas. Em um trabalho, onde foi adicionado micropartículas
2 probióticas associados a extrato da casca da cebola roxa em polpa de morango congelada, em
3 que foram observados resultados favoráveis na viabilidade dos probióticos no tempo de
4 armazenamento da polpa e na avaliação de resistência as condições gástricas, permitindo a
5 aplicação das micropartículas na polpa (RADDATZ et al., 2022).

6 Desse modo, a microencapsulação é a alternativa com grande potencial para proteção dos
7 probióticos por meio das funções que a microencapsulação exerce aos probióticos. Assim, é
8 possível disponibilizar os probióticos em outras matrizes alimentares, possibilitando os
9 benefícios que os probióticos destinam aos consumidores.

10

11 *Microencapsulação de óleos comestíveis*

12 Os óleos, são altamente sensíveis a oxidação e, além disso, são de difícil aplicação em
13 vários tipos de alimentos. Então, a microencapsulação representa uma alternativa atrativa para
14 proteger da oxidação e incorporar óleos em diversas matrizes alimentícias (DELSHADI et al.,
15 2020).

16 No trabalho de MU et al. (2022) foi utilizada a técnica de coacervação complexa para
17 microencapsulação de óleo de algas, utilizando quitosana e amido modificado como material
18 de revestimento. Após o preparo das micropartículas, as mesmas foram liofilizadas. Foi
19 avaliado o comportamento oxidativo do óleo microencapsulado em relação ao óleo livre pelo
20 período de 35 dias em temperatura ambiente em frascos protegidos da luz, onde foram
21 observadas diferenças no comportamento oxidativo do óleo microencapsulado em relação ao
22 livre, sendo que a microencapsulação protegeu o óleo frente à oxidação durante o período de
23 armazenamento.

24 Em outro trabalho, foi realizada a microencapsulação de óleo de chia e linhaça pela
25 metodologia de gelificação iônica para substituição de gordura animal por óleos vegetais ricos

1 em ômega em produtos cárneos ultra processados, e foi obtido um perfil de ácidos graxos rico
2 em ômega mesmo após a passagem pelo processamento térmico a microencapsulação manteve
3 os óleos com lenta progressão da oxidação (HECK et al., 2017).

4 Ademais, em outro trabalho, foram produzidas micropartículas com mono e
5 multicamadas de revestimento, contendo uma, duas e três camadas, onde foram
6 microencapsuladas emulsões com óleo de chia estabilizadas com lecitina de girassol, sendo
7 testadas como material de revestimento maltodextrina, quitosana e mucilagem de chia, e as
8 micropartículas foram obtidas por meio da secagem por pulverização. Foi avaliada a proteção
9 das substâncias do óleo de chia, onde foi obtida a estabilização do óleo microencapsulado, uma
10 alta eficiência de encapsulação do óleo e controle da oxidação lipídica comparado com óleo
11 livre (COPADO et al., 2021).

12 Desse modo, a microencapsulação é uma alternativa para a proteção do óleo à oxidação
13 lipídica.

14

15 *Co-encapsulação de óleos e probióticos*

16 Probióticos e óleos têm sido estudados em vários contextos. Alguns estudos se
17 concentraram no efeito dos óleos essenciais no crescimento de bactérias probióticas, com
18 diferentes óleos essenciais mostrando efeitos positivos ou negativos no crescimento de
19 probióticos (RASOULI; MAHMOUDI; KAZEMINIA, 2017).

20 Outra pesquisa explorou a utilização da suplementação da dieta com probióticos e óleo
21 de peixe para modificar metabólitos séricos ao longo da gestação. E foi observado que foram
22 capazes de modificar positivamente os níveis de lipídios séricos (MOKKALA et al., 2021).

23 Em outro trabalho, LULWAH et al. (2016) encapsulou *Lactobacillus plantarum* com
24 adição de diferentes materiais, entre eles foi adicionado óleo de canola e azeite de oliva pela
25 técnica de gelificação iônica e foi avaliada a viabilidade durante o armazenamento a 4°C por

1 17 horas frente ao teste térmico a 63°C por 0, 15 e 30 minutos. Onde foi observado que houve
2 viabilidade do probiótico nas cápsulas com óleo nos testes aplicados, porém, abaixo do controle
3 sem óleo.

4 Em outro trabalho, o autor HUANG et al. (2021), microencapsulou *Lactobacillus*
5 *plantarum* e óleo de peixe pela técnica de eletropulverização, foram realizados testes para
6 avaliar a viabilidade dos probióticos ao serem submetidos ao teste gastrointestinal simulado,
7 estabilidade térmica e em condições de armazenamento. Foi observado que a encapsulação do
8 óleo de peixe juntamente com a bactéria assegurou a viabilidade do probiótico em todas as
9 análises, indicando que as cápsulas com óleo tiveram maior resistência às condições adversas.

10 Também foi estudada a viabilidade do *Bifidobacterium longum* emulsionado em óleo de
11 semente de baobá fixado em estrutura de gelatina gerando um filme probiótico. Foi observado
12 que o filme de emulsão melhorou significativamente a viabilidade probiótica durante o processo
13 de armazenamento, mantendo o probiótico viável por 30 dias de armazenamento em relação
14 aos demais tratamentos (YANG et al., 2023).

15 Contudo, trabalhos envolvendo a co-encapsulação de óleos com bactérias probióticas
16 estão presentes em baixo o número na literatura atual, sendo necessário novos estudos
17 envolvendo esta temática.

18

19 **CONCLUSÃO**

20 A microencapsulação de substâncias bioativos com foco em probióticos e os óleos
21 funcionais, é um segmento que está sendo recentemente estudado, entretanto, a grande maioria
22 da literatura atual aborda a microencapsulação das substâncias de forma individual, ou seja,
23 sem a co-encapsulação.

24 Portanto, a encapsulação unindo duas substâncias, as bactérias probióticas,
25 juntamente com óleos ricos em ômega, no caso óleo de chia, é uma grande potencialidade de

1 investigação. Além disso, é amplo o campo de atuação para a utilização das técnicas de
2 encapsulação de probióticos conjuntamente com óleos funcionais para entregar cápsulas com
3 características polifuncionais. Sendo assim, mais pesquisas são necessárias neste meio, para
4 assim, tornar possível a fortificação de alimentos como alternativa das indústrias à demanda
5 exigida pelos consumidores.

6

7 REFERÊNCIA

8

9 AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução nº 18. Diário
10 Oficial da União: Poder Executivo. 1999a.

11 AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução nº 2. Diário
12 Oficial da União: Poder Executivo. 2002 ANVISA, 2002)

13 AKKAYA, Murat Reis. Prediction of fatty acid composition of sunflower seeds by near-
14 infrared reflectance spectroscopy. **Journal of food science and technology**, vol. 55, no. 6, p.
15 2318–2325, 2018. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-018-3150-x>>. Accessed:
16 May, 05, 2023. doi 10.1007/s13197-018-3150-x.

17 ALTERMANN, Eric. *et al.* Complete genome sequence of the probiotic lactic acid bacterium
18 *Lactobacillus acidophilus* NCFM. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**,
19 [S.L.], v. 102, n. 11, p. 3906-3912, 25 jan. 2005. Proceedings of the National Academy of
20 Sciences. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0409188102>>. Accessed: Jun, 10,
21 2023. doi: 10.1073/pnas.0409188102.

22 AZCARATE-PERIL, M. Andrea. *et al.* Identification and Inactivation of Genetic Loci Involved
23 with *Lactobacillus acidophilus* Acid Tolerance. **Applied And Environmental Microbiology**,
24 [S.L.], v. 70, n. 9, p. 5315-5322, set. 2004. American Society for Microbiology. Available at:
25 <<http://dx.doi.org/10.1128/aem.70.9.5315-5322.2004>>. Accessed: Apr, 11, 2023. Doi:

- 1 10.1128/aem.70.9.5315-5322.2004.
- 2 BEHERA, Sudhanshu S.; PANDA, Sandeep K. Ethnic and industrial probiotic foods and
3 beverages: efficacy and acceptance. **Current opinion in food science**, vol. 32, p. 29–36, 2020.
4 Available at: : <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.006>> Accessed: Jun, 14, 2023. Doi:
5 10.1016/j.cofs.2020.01.006.
- 6 BENKE, Kurt K.; BENKE, Kristen E. Experimental design issue for assessment of carotenoids
7 lutein and zeaxanthin in age-related eye disease study 2 formulation for age-related macular
8 degeneration. **JAMA ophthalmology**, vol. 132, no. 7, p. 904, 2014.
9 DOI:10.1001/jamaophthalmol.2014.1768. Available at:
10 <http://dx.doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2014.1768>. Accessed: Jun, 14, 2023
- 11 BRANDÁN, J. P.; IZQUIERDO, N.; ACRECHE, M. M. Oil and protein concentration and
12 fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica L.*) as affected by environmental
13 conditions. **Industrial crops and products**, v. 177, n. 114496, p. 114496, 2022. Available at:
14 <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114496>> Accessed: Mai, 10, 2023. doi:
15 10.1016/j.indcrop.2021.114496.
- 16 BULL, Matthew. et al. The life history of *Lactobacillus acidophilus* a probiotic: a tale of
17 revisionary taxonomy, misidentification and commercial success. **Fems Microbiology Letters**,
18 [S.L.], v. 349, n. 2, p. 77-87, 24 out. 2013. Oxford University Press (OUP). Available at:
19 <<http://dx.doi.org/10.1111/1574-6968.12293>>. Accessed: Mai, 20, 2023. doi: 10.1111/1574-
20 6968.12293.
- 21 BURGAIN, J., et al. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial
22 applications. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 467–483, 2011. Available at:
23 <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>>. Accessed: Jun, 10, 2023. doi:
24 10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031.
- 25 CAPITANI, M. I.; SPOTORNO, V.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physicochemical and

- 1 functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica L.*) seeds of
2 Argentina. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**,
3 vol. 45, no. 1, p. 94–102, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.012>>.
4 Accessed: Jun, 10, 2023. doi 10.1016/j.lwt.2011.07.012.
- 5 CARINE RADDATZ, Greice; SONZA PINTO, Vandré; QUEIROZ ZEPKA, Leila;
6 SMANIOTO BARIN, Juliano; JOSÉ CICHOSKI, Alexandre; DE BONA DA SILVA,
7 Cristiane; LOZANO-SÁNCHEZ, Jesús; GOMES DA CRUZ, Adriano; RAGAGNIN DE
8 MENEZES, Cristiano. Use of red onion (*Allium cepa L.*) residue extract in the co-
9 microencapsulation of probiotics added to a vegan product. **Food research international**
10 **(Ottawa, Ont.)**, vol. 161, no. 111854, p. 111854, 2022. Available at:
11 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111854>>. Accessed: Jun, 28, 2023.
12 doi:10.1016/j.foodres.2022.111854.
- 13 CAULI, Omar; GUEVARA-GONZAL Z, José; GUEVARA-CAMPOS, José; GONZÁLEZ,
14 Luc a. The effects of probiotics and prebiotics on gastrointestinal and behavioural symptoms in
15 autism spectrum disorder. **Current reviews in clinical and experimental pharmacology**, vol.
16 17, no. 3, p. 166–173, 2022.. Available at:
17 <<http://dx.doi.org/10.2174/2772432816666210805141257>>. Accessed: Jun, 10, 2023 doi:
18 10.2174/2772432816666210805141257
- 19 CHAWDA, P.J; SHI, J; XUE, S; YOUNG QUEK, S; Coencapsulation of bioactives for food
20 applications; **Food Quality and Safety**, 1 (4), pp. 302 – 309, (2017). Available at:
21 <<https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx028>>. Accessed: Jun, 12, 2023, doi: 10.1093/fqsafe/fyx028.
- 22• CHIEN, D; DEAN, D; SAHA, A.K ; FLATT, J. Ruderman Malonyl-CoA content and fatty
23 acid oxidation in rat muscle and liver in vivo. **J. Phys. Metab**, 279 (2000) , pp . 259 – 265.
24 Available at: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10913024/>>. Accessed: Jun, 22, 2023. Doi:
25 [10.1152/ajpendo.2000.279.2.E259](https://doi.org/10.1152/ajpendo.2000.279.2.E259).

- 1 COMUNIAN, Talita A, et al. Protection of echium oil by microencapsulation with phenolic
2 compounds. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 88, p. 114–121, 2016. Available
3 at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.008>. Accessed: Jun, 15, 2023 doi:
4 10.1016/j.foodres.2016.03.008.
- 5 COOPERSTONE, J. L.; SCHWARTZ, S. J. Recent insights into health benefits of carotenoids.
6 **Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages**. [S. l.]: Elsevier, 2016. p. 473–497.
7 Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100371-8.00020-8>>. Accessed: Jun, 20,
8 2023. Doi: 10.1016/b978-0-08-100371-8.00020-8.
- 9 COPADO, Claudia N. et al. Multilayer microencapsulation of chia seed oil by spray-drying
10 using electrostatic deposition technology. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**
11 **[Food science and technology]**, vol. 152, no. 112206, p. 112206, 2021. Available at:
12 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112206>>. Accessed: Jun, 12, 2023. doi:
13 10.1016/j.lwt.2021.112206
- 14 COSTA, N.M.B; ROSA, C.O.B. Bioactive compounds with functional properties: functional
15 foods: history, legislation and attributes. 2. Ed. Rio de Janeiro: Rubio. 2016.
- 16 DE LIMA, Tainara Luisa; WESCHENFELDER, Simone. Benefits of probiotics for the
17 intestinal microbiota and their addition to dairy products and supplements. **Journal of the**
18 **Cândido Tostes Dairy Institute**, vol. 74, no. 1, p. 51–59, 2019. Available
19 at:<<http://dx.doi.org/10.14295/2238-6416.v74i1.712>>. Accessed: Jan, 10, 2024. doi:
20 10.14295/2238-6416.v74i1.712.
- 21 DELSHADI, Rana. et al. Micro and nanoencapsulation of vegetable and essential oils for the
22 development of functional foods with enhanced nutritional profiles. **Trends in Food Science**
23 **and Technology**, vol. 104, p. 72-83, 2020. Available
24 at:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.004>>. Accessed: Jul, 26, 2023. doi:
25 10.1016/j.tifs.2020.07.004.

- 1 DU, Qiwei. et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acid encapsulation system: physical and
2 oxidative stability, and medical applications. **Food Frontiers**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 239-255, 14
3 jan. 2022. Wiley. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1002/fft2.134>>. Accessed: Jun, 05, 2023.
4 doi: 10.1002/fft2.134.
- 5 EL SAYED, Hoda S.; MABROUK, Ahmed M. Encapsulation of probiotics using mixture of
6 sodium alginate and rice flour to enhance their survivability in simulated gastric conditions and
7 in UF-Kariesh cheese. **Biocatalysis and agricultural biotechnology** , vol. 50, no. 102738, p.
8 102738, 2023. Available at:<<http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102738>> Accessed: Jul, 18,
9 2023. doi: 10.1016/j.bcab.2023.102738.
- 10 ENES, Bárbara N. et al. Chia seed (*Salvia hispanica L.*) effects and their molecular mechanisms
11 on unbalanced diet experimental studies: A systematic review. **Journal of food science**, vol.
12 85, no. 2, p. 226–239, 2020. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.15003>>.
13 Accessed: Jul, 13, 2023. doi: 10.1111/1750-3841.15003
- 14 FAO. Probiotics in food: FAO food and nutrition paper 85: Health and nutritional properties
15 and guidelines. Roma, Italy: **Food & Agriculture Organization of the United Nations**
16 **(FAO)**, 2006. Available at: <<https://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf>>. Accessed: Nov, 05,
17 2023.
- 18 FAO. 2018. FAO TERMS PORTAL. Available at:
19 <<https://www.fao.org/faoterm/viewentry/en/?entryId=170967>>. Accessed: 5, Nov, 2023.
- 20 FARID, Mohamed. et al. Comparative study of functional food regulations in Japan and
21 worldwide. **Global journal of health sciences**, vol. 11, no. 6, p. 132, 2019. Available at:
22 <<http://dx.doi.org/10.5539/gjhs.v11n6p132>>. Accessed: May, 17, 2023. doi:
23 10.5539/gjhs.v11n6p132.
- 24 FERNANDES, S. S. et al. Yield and quality of chia oil extracted via different methods. **Journal**
25 **of food engineering**, v. 262, p. 200–208, 2019. Available at:

- 1 <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.019>>. Accessed: Apr, 02, 2023. doi:
2 10.1016/j.jfoodeng.2019.06.019.
- 3 FIRTIN, Burcu. et al. Encapsulation of chia seed oil with curcumin and investigation of release
4 behaviour & antioxidant properties of microcapsules during in vitro digestion studies. **LWT**,
5 [S.L.], v. 134, p. 109947, dez. 2020. Elsevier BV. Available at:
6 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109947>>. Accessed: May, 22, 2023. doi:
7 10.1016/j.lwt.2020.109947.
- 8 GAÑAN, Nicolas; BORDÓN, María Gabriela; RIBOTTA, Pablo D.; GONZÁLEZ, Agustín.
9 Study of chia oil microencapsulation in soy protein microparticles using supercritical Co₂-
10 assisted impregnation. **Journal of CO₂ utilization**, vol. 40, no. 101221, p. 101221, 2020.
11 Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101221>>. Accessed: Aug, 17, 2023. doi:
12 10.1016/j.jcou.2020.101221.
- 13 GANESAN, K.; SUKALINGAM, K.; XU, B. Impact of consumption and cooking manners of
14 vegetable oils on cardiovascular diseases- A critical review. **Trends in food science &**
15 **technology**, v. 71, p. 132–154, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.003>
16 Accessed: Jul, 16, 2023. doi: 10.1016/j.tifs.2017.11.003.
- 17 GAO, Huijuan. et al. The functional roles of *Lactobacillus acidophilus* in different
18 physiological and pathological processes. **Journal of microbiology and biotechnology**, vol.
19 32, no. 10, p. 1226–1233, 2022. Available at: <<http://dx.doi.org/10.4014/jmb.2205.05041>>.
20 Accessed: May, 15, 2023. doi: 10.4014/jmb.2205.05041.
- 21 GHAFOOR, Kashif. et al. An evaluation of bioactive compounds, fatty acid composition and
22 oil quality of chia (*Salvia hispanica L.*) seed roasted at different temperatures. **Food chemistry**,
23 vol. 333, no. 127531, p. 127531, 2020 Available at:
24 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127531>>. Accessed: Jul, 16, 2023. doi:
25 10.1016/j.foodchem.2020.127531.

- 1 GUARNER, F. Diretrizes Globais da WGO Probióticos e prebióticos (pp. 1-35). Milwaukee:
2 **Organização Mundial de Gastroenterologia**. 2017.
- 3 HECK, Rosane Teresinha. et al. Is it possible to produce a low-fat burger with a healthy n-6/n-
4 3 PUFA ratio without affecting the technological and sensory properties? **Meat science**, vol.
5 130, p. 16–25, 2017. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.03.010>>.
6 Accessed: Jun, 10, 2023. doi:10.1016/j.meatsci.2017.03.010.
- 7 HECK, Rosane Teresinha. et al. Microencapsulation of healthier oils: an efficient strategy to
8 improve the lipid profile of meat products. **Current opinion in food science**, v. 40, p. 6–12,
9 2021. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.04.010>>. Accessed: Mar, 20, 2023.
10 doi:10.1016/j.cofs.2020.04.010.
- 11 HERNANDEZ, Rocío I.; ÁLVAREZ-PARRILLA, Emilio; LIZARDI-MENDOZA, Jaime;
12 ISLAS-RUBIO, Alma R.; DE LA ROSA, Laura A.; WALL-MEDRANO, Abraham. Structural
13 stability and viability of microencapsulated probiotic bacteria: A review. **Comprehensive**
14 **reviews in food science and food safety**, vol. 12, no. 6, p. 614–628, 2013. Disponível em:
15 <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12030>. Accessed: Out, 10, 2023. Doi: 10.1111/1541-
16 4337.12030.
- 17 HOGENBOM, Jennifer; JONES, Alysson; WANG, Haozhe Vincent; PICKETT, Laura Jane;
18 FARAONE, Nicoletta. Synthesis and Characterization of β -Cyclodextrin-Essential Oil
19 Inclusion Complexes for Tick Repellent Development. **Polymers**, [S.L.], v. 13, n. 11, p. 1892,
20 7 jun. 2021. MDPI AG. Available at: <<http://dx.doi.org/10.3390/polym13111892>>. Accessed:
21 Jun, 17, 2023. doi: 10.3390/polym13111892.
- 22 HUANG, Ru-Meng; FENG, Kun; LI, Shu-Fang; ZONG, Min-Hua; WU, Hong; HAN, Shuang-
23 Yan. Enhanced survival of probiotics in the electrosprayed microcapsule by addition of fish oil.
24 **Journal of food engineering**, v. 307, n. 110650, p. 110650, 2021. Available at:
25 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110650>>. Accessed: Nov, 05, 2023. doi:

- 1 10.1016/j.jfoodeng.2021.110650.
- 2 ISHAG, Omer Adam Omer. et al. Proximate Composition, Physicochemical Properties and
3 Antioxidant Activity of Flaxseed. **Annual Research & Review In Biology**, [S.L.], p. 1-10, 21
4 jan. 2020. Sciencedomain International. Available at:
5 <<http://dx.doi.org/10.9734/arrb/2019/v34i230148>>. Accessed: Jul, 19, 2023.
6 doi:10.9734/arrb/2019/v34i230148.
- 7 ISHTIAQ Ahmad. et al. Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients
8 and associated challenges - A review, **Trends in Food Science & Technology**, Volume 129,
9 2022, Pages 558-580, ISSN 0924-2244, Available at:
10 <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>>. Accessed: Jul, 29, 2023. doi:
11 10.1016/j.tifs.2022.11.003.
- 12 IXTAINA, Vanesa Y.; NOLASCO, Susana M.; TOMÁS, Mabel C. Oxidative stability of Chia
13 (*Salvia hispanica* L.) seed oil: Effect of antioxidants and storage conditions. **Journal of the**
14 **American Oil Chemists' Society**, vol. 89, no. 6, p. 1077–1090, 2012. Available at:
15 <<http://dx.doi.org/10.1007/s11746-011-1990-x>>. Accessed: Aug, 18, 2023. doi:
16 10.1007/s11746-011-1990-x.
- 17 JIA, Baolei. et al. Gut microbiome-mediated mechanisms for reducing cholesterol levels:
18 implications for ameliorating cardiovascular disease. **Trends in microbiology**, vol. 31, no. 1,
19 p. 76–91, 2023. Accessed: Sep, 01, 2023. doi: 10.1016/j.tim.2022.08.003.
- 20 KUMAR, Sruthi; NAIR, Harikumar; KUMAR, Prakash. Comparative analysis of anti-
21 oxidant potential of vanillin and ferulic acid invitro. **Food and Humanity**, vol. 1, p. 1206–
22 1212, 2023. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.014>>. Accessed: Jan,
23 10, 2024. doi:1016/j.foohum.2023.09.014.
- 24 KIMURA, Ikuo; ICHIMURA, Atsuhiko; OHUE-KITANO, Ryuji; IGARASHI,
25 Miki. Receptores de ácidos graxos livres na saúde e na doença. **Revisões fisiológicas**. vol. 100,

1 não. 1, pág. 171–210, 2020. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00041.2018>>.

2 Accessed: Jul, 14, 2023. doi:10.1152/physrev.00041.2018.

3 LI, Sing-Chung. et al. Combination of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium animalis*

4 subsp. *lactis* Shows a Stronger Anti-Inflammatory Effect than Individual Strains in HT-29

5 Cells. **Nutrients**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 969, 27 abr. 2019. MDPI AG.

6 <<http://dx.doi.org/10.3390/nu11050969>>. Accessed: Jul, 12, 2023. doi: 10.3390/nu11050969.

7 LIMA, Sandra Kitakawa; GALIZA, Marcelo; VALADARES, Alexandre Arbex; ALVES,

8 Fábio. **Production and consumption of organic products in the world and in Brazil**. 2020.

9 Available at: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9678>>. Accessed on: Feb, 10, 2023.

10 LULWAH, Y. Al Furaih; IBTISAM, M. Ababutain; AZZAT, B. Abd El Khalek; AHMED, M.

11 Abdel Salam. Effect of different microencapsulation materials on stability of *Lactobacillus*

12 *plantarum* DSM 20174. **African journal of biotechnology**, v. 15, n. 24, p. 1207–1216, 2016..

13 Available at: <<http://dx.doi.org/10.5897/ajb2016.15215>>. Accessed: Nov, 04, 2023. doi:

14 10.5897/ajb2016.15215.

15 MARKOWIAK, Paulina; ŚLIŻEWSKA, Katarzyna. Effects of probiotics, prebiotics, and

16 synbiotics on human health. **Nutrients**, vol. 9, no. 9, p. 1021, 2017. Available at:

17 <<http://dx.doi.org/10.3390/nu9091021>>. Accessed: Out, 10, 2023. doi 10.3390/nu9091021.

18 MARQUES DA SILVA, Thaiane; SONZA PINTO, Vandr ; RAMIRES FONSECA SOARES,

19 Vítor; MAROTZ, Débora; CICHOSKI, Alexandre José; QUEIROZ ZEPKA, Leila; JACOB

20 LOPES, Eduardo; DE BONA DA SILVA, Cristiane; DE MENEZES, Cristiano

21 Ragagnin. Viability of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated by complex coacervation

22 associated with enzymatic cross-linking under application in different fruit juices.

23 **International Food Research** (Ottawa, Ont.), vol. 141, no. 110190, p. 110190, 2021 Available

24 at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110190>>. Accessed: Jul, 16, 2023.

25 doi:10.1016/j.foodres.2021.110190

- 1 MARTIN, Clayton A. et al. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: importance and
2 occurrence in foods. **Journal of Nutrition**, [S.L.], v. 19, n. 6, p. 761-770, dec. 2006.
3 FapUNIFESP (SciELO). Available at: <[http://dx.doi.org/10.1590-s1415-](http://dx.doi.org/10.1590/s1415-52732006000600011)
4 [52732006000600011](http://dx.doi.org/10.1590/s1415-52732006000600011)>. Accessed: Jul, 15, 2023. doi: 10.1590/s1415-52732006000600011
- 5 MARTÍN, María José. et al. Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies
6 and their impact on probiotic effects. **Innovative food science and emerging technologies:**
7 **IFSET: the official scientific journal of the European Federation of Food Science and**
8 **Technology**, vol. 27, pp. 15-25, 2015. Available at:
9 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>>. Accessed: Jun, 28, 2023.
10 doi:10.1016/j.ifset.2014.09.010.
- 11 MARTÍNEZ, M. L.; CURTI, M. I.; ROCCIA, P.; LLABOT, J. M.; PENCI, M. C.; BODOIRA,
12 R. M.; RIBOTTA, P. D. Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia*
13 *hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. **Powder technology**, vol. 270, p. 271–
14 277, 2015. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>>. Accessed: Jul, 18,
15 2023. doi 10.1016/j.powtec.2014.10.031.
- 16 MARTONI, Christopher J.; SRIVASTAVA, Shalini; LEYER, Gregory J.. *Lactobacillus*
17 *acidophilus* DDS-1 and Bifidobacterium lactis UABla-12 Improve Abdominal Pain Severity
18 and Symptomology in Irritable Bowel Syndrome: randomized controlled trial. **Nutrients**,
19 [S.L.], v. 12, n. 2, p. 363, 30 jan. 2020. MDPI AG. Available at:
20 <<http://dx.doi.org/10.3390/nu12020363>>. Accessed: Jun, 28, 2023. doi: 10.3390/nu12020363.
- 21 MENEZES, Cristiano Ragagnin, et al. Microencapsulation of probiotics: advances and
22 perspectives. **Ciência rural**, v. 43, n. 7, p. 1309–1316, 2013. Available at:
23 <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013005000084>>. Accessed: Jun, 29, 2023. doi:
24 10.1590/s0103-84782013005000084.
- 25 MISRA, S.; Pandey, P; Mishra, H.N. New approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria

1 with bioactive compounds, their health benefits and development of functional food products:
2 a review. **Trends in Food Science & Technology** , 109 (2021) , pp . 340 - 351. Available at:
3 <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>>. Accessed: Mar, 13, 2023. doi:
4 10.1016/j.tifs.2021.01.039.

5 MOKKALA, Kati; VAHLBERG, Tero; HOUTTU, Noora; KOIVUNIEMI, Ella; LAHTI, Leo;
6 LAITINEN, Kirsi. Impact of combined consumption of fish oil and probiotics on the serum
7 metabolome in pregnant women with overweight or obesity. **EBioMedicine**, vol. 73, no.
8 103655, p. 103655, 2021 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ebiom.2021.103655>.
9 Accessed: Aug, 13, 2023. doi 10.1016/j.ebiom.2021.103655.

10 MU, Hongyan; SONG, Zhaoxia; WANG, Xin; WANG, Deda; ZHENG, Xiaoqing; LI, Xiaodan.
11 Microencapsulation of algal oil by complex coacervation of chitosan and modified starch:
12 Characterization and oxidative stability. **International journal of biological macromolecules**,
13 vol. 194, p. 66-73, 2022. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.168>>.
14 Accessed: Jul, 23, 2023. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.11.168

15 MUKAI-CORRÊA, R. **Production of microparticles by ionic gelation for feeding fish**
16 **larvae: Studies in a model system with inclusion of lipid microparticles or lipid emulsion**
17 **and in vivo tests**. 2008. 177 p. Thesis (Doctorate in Food and Nutrition) - State University of
18 Campinas, Campinas, 2008. Available at:
19 <<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=462606>> Accessed: Jun,
20 30, 2023.

21 MYAZAKI, Natália Lima. et al. POTENTIAL APPLICATION OF BIOACTIVE
22 COMPONENTS FROM PSIDIUM GUAJAVA IN MILK PRODUCTS. **Advances in Food**
23 **Science and Technology - Volume 1**. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2020. p. 365-384.
24 Available at: Accessed: Feb, 10, 2023.

25 NAZZARO, Filomena. *et al.* Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current**

1 **opinion in biotechnology**, vol. 23, no. 2, p. 182–186, 2012. DOI
2 10.1016/j.copbio.2011.10.001. Available at:
3 <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>. Accessed: Jun, 22, 2023. doi:
4 10.1016/j.copbio.2011.10.001.

5 NOLAN, John M. et al. Supplementation with carotenoids, omega-3 fatty acids and vitamin E
6 has a positive effect on symptoms and progression of Alzheimer's disease. **Journal of**
7 **Alzheimer's disease: JAD** , vol. 90, no. 1, p. 233-249, 2022. Available at:<
8 <http://dx.doi.org/10.3233/jad-220556>>. Accessed: Jun, 30, 2023. doi:10.3233/jad-220556.

9 ONU. Organização das Nações Unidas. Available at:
10 <https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>>. Accessed: Feb, 10, 2023.

11 PAPIZADEH, Moslem; ROHANI, Mahdi; NAHREVANIAN, Hossein; JAVADI, Abdolreza;
12 POURSHAFIE, Mohammad Reza. Probiotic characters of Bifidobacterium and Lactobacillus
13 are a result of the ongoing gene acquisition and genome minimization evolutionary
14 trends. **Microbial pathogenesis**, vol. 111, p. 118–131, 2017. Available at:
15 <http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2017.08.021>>. Accessed: Sep, 15, 2023. doi:
16 10.1016/j.micpath.2017.08.021.

17 PEDROSA, Gabriela Costa. **Functional foods: legislation, comparisons and a look at coffee.**
18 2015. 34 f. Monograph (Specialization) - Biological Sciences Course, Department of
19 Pharmacology, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Accessed: Jun, 11,
20 2023.

21 QIAO, Yali, et al. Fermented soybean foods: A review of their functional components,
22 mechanism of action and factors influencing their health benefits, **Food Research**
23 **International**, Volume 158, 2022,111575, ISSN 0963-9969, Available
24 at:<<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111575>>. Accessed: May, 10, 2023. doi:
25 10.1016/j.foodres.2022.111575.

- 1 RADDATZ, Greice Carine, et al. Viability and stability evaluation of *Lactobacillus casei* LC03
2 co-encapsulated with red onion (*Allium cepa* L.) peel extract. **Lebensmittel-Wissenschaft und**
3 **Technologie [Food science and technology]**, vol. 153, no. 112434, p. 112434, 2022..
4 Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112434>>. Accessed: Jul, 10, 2023 doi
5 10.1016/j.lwt.2021.112434
- 6 RANADHEERA, Chaminda Senaka; NAUMOVSKI, Nenad; AJLOUNI, Said. Non-bovine
7 milk products as emerging probiotic carriers: recent developments and innovations. **Current**
8 **opinion in food science**, vol. 22, p. 109–114, 2018. Available at:<
9 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.010>>. Accessed: Jan, 10, 2023. doi:
10 10.1016/j.cofs.2018.02.010.
- 11 RASOULI, Mehdi; MAHMOUDI, Razzagh; KAZEMINIA, Masoud. A review on the effect of
12 medicinal plant essences on the performance of probiotic bacteria. **Journal of Mazandaran**
13 **University of Medical Sciences**, vol. 26, no. 144, p. 411–423, 2017. Available at:
14 <<http://jmums.mazums.ac.ir/article-1-9286-en.html>>. Accessed on: 7 Sep. 2023.
- 15 RIBEIRO, Maria Carolina de Oliveira, et al. Evaluation of probiotic properties of *Pediococcus*
16 *acidilactici* B14 in association with *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 for application in a
17 soy based aerated symbiotic dessert. **Brazilian archives of biology and technology**, vol. 57,
18 no. 5, p. 755–765, 2014. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1516-8913201402258>>.
19 Accessed on: 10 Sep 2023. doi 10.1590/s1516-8913201402258.
- 20 ROOBAB, Ume, et al. Sources, formulations, advanced delivery and health benefits of
21 probiotics. **Current opinion in food science**, vol. 32, p. 17–28, 2020. Available at:
22 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.003>>. Accessed on: Oct, 06, 2023. doi:
23 10.1016/j.cofs.2020.01.003.
- 24 RODRIGUES, *et al.* New glycemic metrics and traditional clinical and laboratory profiles of
25 children and adolescents with type 1 diabetes mellitus in an outpatient follow-up. **Diabetes**

- 1 **research and clinical practice**, v. 173, n. 108680, p. 108680, 2021. Available at:
2 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108680>>. Accessed: Jun, 15, 2023.
3 doi:10.1016/j.diabres.2021.108680.
- 4 ROLIM, Fernanda R. L, et al. Cheeses as food matrixes for probiotics: In vitro and in vivo
5 tests. **Trends in food science & technology**, vol. 100, p. 138–154, 2020. Available at:
6 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.008>>. Accessed: Out, 10, 2023. doi:
7 10.1016/j.tifs.2020.04.008.
- 8 RUYTER, Bente. *et al.* A dose-response study with omega-3 rich canola oil as a novel source
9 of docosahexaenoic acid (DHA) in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater; effects
10 on performance, tissue fatty acid composition, and fillet quality. **Aquaculture**, [S.L.], v. 561,
11 p. 738733, dez. 2022. Elsevier BV. Available at:
12 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738733> >. Accessed: Jul, 23, 2023. doi:
13 10.1016/j.aquaculture.2022.738733.
- 14 SAIFULLAH, Md; MCCULLUM, Rebecca; MCCLUSKEY, Adam; VUONG, Quan. Effects
15 of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant properties from
16 lemon myrtle dried leaves. **Heliyon**, vol. 5, no. 12, p. e03044, 2019. Available at:
17 <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03044>. Accessed: Jul, 29, 2023. DOI
18 10.1016/j.heliyon.2019.e03044.
- 19 SALA-VILA, A. *et al.* Impact of α -Linolenic Acid, the Vegetable ω -3 Fatty Acid, on
20 Cardiovascular Disease and Cognition, **Advances in Nutrition**, Volume 13, Issue 5, 2022,
21 Pages 1584-1602, ISSN 2161-8313, Available at:
22 <<https://doi.org/10.1093/advances/nmac016>>. Accessed: Jul, 23, 2023.
23 doi:10.1093/advances/nmac016.
- 24 SALGADO, J. **Perspectivas e tendências: alimentos funcionais**. São Paulo: Oficina de
25 Textos. 2017. Accessed: Apr, 23, 2023.

- 1 SANTOS, Taidés Tavares; VARAVALLO, Maurilio Antonio (Orgs.). **A IMPORTÂNCIA**
2 **DE PROBIÓTICOS PARA O CONTROLE E/OU REESTRUTURAÇÃO DA**
3 **MICROBIOTA INTESTINAL**. [S. l.]: Revista Científica do ITPAC, 2011. v. 4. Available at:
4 <<https://assets.unitpac.com.br/arquivos/Revista/41/5.pdf>>. Accessed: Out. 22, 2023.
- 5 SEKHAVATIZADEH, Seyed Saeed *et al.* Physicochemical and sensory properties of probiotic
6 yogurt containing *Lactobacillus plantarum* ATCC 10241 microencapsulated with okra
7 (Abelmoschus esculentus) mucilage and sodium alginate. **Bioactive carbohydrates and**
8 **dietary fibre**, vol. 30, no. 100364, p. 100364, 2023. Available at:
9 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bcdf.2023.100364>>. Accessed: Jun, 30, 2023.
10 doi:10.1016/j.bcdf.2023.100364.
- 11 SHAHIDI, Fereidoon; AMBIGAIPALAN, Priyatharini. Omega-3 polyunsaturated fatty acids
12 and their health benefits. **Annual review of food science and technology**, vol. 9. pág. 345–
13 381, 2018. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-food-111317-095850>>. Accessed:
14 Jun, 16, 2023. doi:10.1146/annurev-food-111317-095850.
- 15 SILVA, Pablo Teixeira da. *et al.* Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and
16 some applications in food technology. **Ciência rural**, vol. 44, no. 7, p. 1304–1311, 2014. DOI
17 10.1590/0103-8478cr20130971. Available at: <[http://dx.doi.org/10.1590/0103-](http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130971)
18 [8478cr20130971](http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130971)>. Accessed: Aug, 30, 2023. doi:10.1590/0103-8478cr20130971.
- 19 SINGH, Arunima; KUMAR, Vivek. Phyto-chemical and bioactive compounds of pumpkin
20 seed oil as affected by different extraction methods. **Food Chemistry Advances**, [S.L.], v. 2,
21 p. 100211, out. 2023. Elsevier BV. Available at:
22 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2023.100211>>. Accessed: Out, 10, 2023. doi:
23 10.1016/j.focha.2023.100211.
- 24 SOHOULI, Mohammad Hassan. *et al.* Impact of Omega-3 supplementation on homocysteine
25 levels in humans: a systematic review and meta-regression analysis of randomized controlled

- 1 trials. **Nutrition, Metabolism And Cardiovascular Diseases**, [S.L.], v. 32, n. 9, p. 2013-2025,
2 set. 2022. Elsevier BV. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.numecd.2022.05.008>>.
3 Accessed: Out, 10, 2023. doi: 10.1016/j.numecd.2022.05.008.
- 4 TAK, Y. *et al.* Repurposing chia seed oil: A versatile novel functional food. **Journal of food**
5 **science**, v. 87, n. 7, p. 2798–2819, 2022. Available at: <[http://dx.doi.org/10.1111/1750-](http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16211)
6 [3841.16211](http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16211)>. Accessed: Sep, 01, 2023. doi: 10.1111/1750-3841.16211.
- 7 TAN, Chin Xuan. Virgin avocado oil: an emerging source of functional fruit oil. **Journal Of**
8 **Functional Foods**, [S.L.], v. 54, p. 381-392, mar. 2019. Elsevier BV. Available from:
9 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.031>>. Accessed: Jul, 19, 2023.
10 doi:10.1016/j.jff.2018.12.031.
- 11 TARIFA, María Clara; PIQUERAS, Cristian Martín; GENOVESE, Diego Bautista;
12 BRUGNONI, Lorena Inés. Microencapsulation of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus*
13 *rhamnosus* in pectin and pectin-inulin microgel particles: Effect on bacterial survival under
14 storage conditions. **International journal of biological macromolecules**, vol. 179, p. 457–
15 465, 2021. Available from: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.038>>. Accessed:
16 Out, 10, 2023. doi 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.038.
- 17 VALENZUELA, Rodrigo. *et al.* Modification of docosahexaenoic acid composition of milk
18 from nursing women who received alpha linolenic acid from Chia oil during gestation and
19 nursing. **Nutrients**, vol. 7, no. 8, p. 6405–6424, 2015. Available at:
20 <<http://dx.doi.org/10.3390/nu7085289>>. Accessed: Jun, 13, 2023. doi:10.3390/nu7085289.
- 21 WANG, Jiankang, et al. Stability and stabilization of omega-3 oils: a review. **Trends In Food**
22 **Science & Technology**, [S.L.], v. 118, p. 17-35, dez. 2021. Elsevier BV. Available at:
23 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.018>>. Accessed: Jun, 13, 2023.
24 doi:10.1016/j.tifs.2021.09.018.
- 25 WANG, Meng-Xia. *et al.* Evodiamine has therapeutic efficacy in ulcerative colitis by

- 1 increasing *Lactobacillus acidophilus* levels and acetate production. **Pharmacological**
2 **Research**, [S.L.], v. 159, p. 104978, set. 2020. Elsevier BV. Available at:
3 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.phrs.2020.104978>>. Accessed: Jun, 26, 2023. doi:
4 10.1016/j.phrs.2020.104978.
- 5 WANG, Mu. *et al.* Effects of polymerised whey protein-based microencapsulation on
6 survivability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and physiochemical properties of
7 yoghurt. **Journal Of Microencapsulation**, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 504-512, 4 jul. 2018. Informa
8 UK Limited. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1080/02652048.2018.1538266>> Accessed:
9 Jun, 26, 2023. doi:10.1080/02652048.2018.1538266.
- 10 YANG, Chenlu. *et al.* Processing technologies, phytochemical constituents, and biological
11 activities of grape seed oil (GSO): a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.],
12 v. 116, p. 1074-1083, out. 2021. Elsevier BV. Available at:
13 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.011>>. Accessed: Jun, 26, 2023. doi:
14 10.1016/j.tifs.2021.09.011.
- 15 YANG, Zhikun, *et al.* Trapping of probiotic (*Bifidobacterium longum*) in bi-layer emulsion film
16 with enhanced barrier property to improve viability. **Food Chemistry**, vol. 423. 136300,
17 pág. 136300, 2023. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136300>>.
18 Accessed: Aug, 26, 2023. doi:10.1016/j.foodchem. 2023.136300.
- 19 ZHANG, Tao; ZHANG, Cunzheng; ZHANG, Jindong; SUN, Feng; DUAN, Liping. Efficacy
20 of probiotics for irritable bowel syndrome: A systematic review and network meta-
21 analysis. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, vol. 12, 2022. Available at:
22 <<http://dx.doi.org/10.3389/fcimb.2022.859967>>. Accessed: Sep, 10. doi:
23 110.3389/fcimb.2022.859967.
- 24 ZIA, M. A. *et al.* Physicochemical features, functional characteristics, and health benefits of
25 cottonseed oil: a review. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 82, 2022. Available at:

- 1 <<http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.243511>>. Accessed: Aug, 26, 2023. doi: 10.1590/1519-
- 2 6984.243511.
- 3 ZINDER, R; COOLEY, R; VLAD, L.G; MOLNAR J.A. **Vitamin A and Wound Healing.**
- 4 Nutr Clin Pract. 2019 Dec;34(6):839-849. PMID: 31697447. Accessed: Aug, 26, 2023. doi:
- 5 10.1002/ncp.10420.

MANUSCRITO 2

**Avaliação da co-encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* e
diferentes concentrações de óleo de chia (*Salvia hispanica* L.) por
gelificação iônica externa**

Este trabalho está em fase de revisão para ser submetido à revista Food Research International (qualis A1)

MANUSCRITO 2

Avaliação da co-encapsulação de *Lactobacillus acidophilus* e diferentes concentrações de óleo de chia (*Salvia hispanica L.*) por gelificação iônica externa

Resumo

Os probióticos e substâncias bioativos vegetais, vem ganhando destaque e apreço pelos consumidores pelo potencial de contribuir com a saudabilidade dos alimentos. Entretanto, essas substâncias são sensíveis a fatores intrínsecos e extrínsecos do meio, tanto no processamento como também no acondicionamento do produto pronto. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo encapsular, por meio da gelificação iônica externa, o probiótico *Lactobacillus acidophilus* juntamente com óleo de chia (*Salvia hispanica L.*) em diferentes concentrações, a fim de avaliar a interação, viabilidade e resistência de ambas substâncias juntas. Ao estudar a interação do *L. acidophilus* com o óleo, foi observado que o tratamento com 20% de óleo obteve melhor performance na maioria dos testes realizados. As micropartículas obtiveram resultados promissores na proteção do *Lactobacillus acidophilus* durante o armazenamento e o óleo apresentou retardamento na oxidação lipídica por meio da microencapsulação. Além disso, as micropartículas protegeram os probióticos nas análises de resistência gástrica e tratamento térmico, sendo a presença do óleo um diferencial. Assim, a micropartícula polifuncional desenvolvida neste estudo se mostrou promissora, ampliando a aplicação e desenvolvimento de novos alimentos com enriquecimento funcional.

Palavras chave: microencapsulação, probióticos, óleo poli-insaturado, ômega-3, trato gastrointestinal.

MANUSCRIPT 2

Co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* and different concentrations of chia oil (*Salvia hispanica L.*) by external ionic gelation

Abstract

Probiotics and bioactive plant substances have been gaining prominence and appreciation among consumers for their potential to contribute to the healthiness of food. However, these substances are sensitive to intrinsic and extrinsic factors in the environment, both in the processing and packaging of the finished product. With this in mind, the aim of this study is to encapsulate the probiotic *Lactobacillus acidophilus* with chia oil (*Salvia hispanica L.*) in different concentrations by means of external ionic gelation, in order to assess the interaction, viability and resistance of both substances together. When studying the interaction of *L. acidophilus* with the oil, it was observed that the treatment with 20% oil obtained the best performance in most of the tests carried out. The microparticles obtained promising results in protecting *Lactobacillus acidophilus* during storage and the oil slowed down lipid oxidation through microencapsulation. In addition, the microparticles protected the probiotics in the gastric resistance and heat treatment analyses, with the presence of the oil being a differential. Thus, the polyfunctional microparticle developed in this study proved to be promising, expanding the application and development of new foods with functional enrichment.

Key words: microencapsulation, probiotics, chia oil, ômega-3, gastrointestinal tract

1 Introdução

Os alimentos funcionais podem ser definidos como alimentos com diversos benefícios à saúde do consumidor e nutrição essencial, sendo aqueles que, além das funções nutricionais básicas, quando consumidos periodicamente, produzem efeitos metabólicos, fisiológicos e benéficos à saúde, prevenindo doenças crônicas, degenerativas, cardiovasculares, entre outras (Khetu et al., 2023; Martirosyan & Singh, 2015). Assim, a demanda de consumo destes alimentos vem crescendo mundialmente, destacando-se os probióticos e óleos ricos em ômega-3.

Os probióticos são definidos como microrganismos vivos que quando ingeridos em quantidades adequadas conferem benefícios à saúde do hospedeiro (FAO/WHO, 2002). Entretanto, um grande desafio na incorporação de bactérias probióticas nos alimentos é a manutenção de sua viabilidade durante o processamento devido a fatores adversos no meio (Kazemi et al., 2022).

Além disso, os óleos ricos em ômeegas conferem diversos benefícios aos consumidores como o fornecimento energético para manter as funções dos órgãos, regulação das respostas inflamatórias, das funções imunológicas e redução níveis séricos da lipoproteína de baixa densidade (LDL) (Calder, 2017; Gutiérrez, Svahn, & Johansson, 2019).

Devido à natureza altamente insaturada dos ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), eles são sensíveis à oxidação e à degradação térmica, levando à produção de hidroperóxidos e sabores e cheiros desagradáveis (Du et.al, 2022). Há muitos anos, a microencapsulação de óleos em matrizes poliméricas tem sido utilizada para protegê-los da degradação oxidativa (Lewandowski, Czyżewski, & Zbiciński, 2012).

Com isso, a microencapsulação é uma alternativa que tem se mostrado eficaz para proteção de substâncias microencapsuladas, criando uma barreira entre as substâncias e o meio ambiente (Razavi et al., 2021).

Dentre as técnicas de microencapsulação de probióticos, a gelificação iônica faz parte das técnicas mais empregadas, pois apresenta condições simples e acessíveis para a produção das micropartículas, além disso, não utiliza altas temperatura e solvente (Mohammadinejad, Almonaitytė, Jensen, Kurek, & Lerfall, 2023).

Portanto, o presente estudo tem por objetivo desenvolver micropartículas pela metodologia de gelificação iônica externa e avaliar a viabilidade e estabilidade da co-encapsulação do *Lactobacillus acidophilus* com óleo de chia (*Salvia hispanica L.*) em diferentes concentrações e investigar o comportamento das substâncias ao armazenamento, e resistência dos probióticos à passagem simulada ao sistema gastrointestinal e tratamento térmico.

3. Materiais e Métodos

2.1 Preparo do inóculo

Para o preparo do inóculo foi utilizado 1 g da cultura probiótica *L. acidophilus*-LA02 (Coana- Brasil), onde foi ativado em 100 mL de caldo MRS (Himedia) e incubado anaerobicamente por 15 a 18 h a 37 ± 1 °C. Em seguida, centrifugado a $4670 \times g$ por 15 minutos a 4 ± 1 °C e lavado com solução salina (0,85 %).

2.2 Obtenção do óleo de chia

O óleo de chia foi adquirido comercialmente, em frascos de 250 ml, diretamente da fábrica Pазze Alimentos, Panambi, Brasil.

2.3 Produção das micropartículas contendo *L. acidophilus* e óleo de chia

As micropartículas foram produzidas de acordo com a técnica de extrusão desenvolvida por Liserre, Ré e Franco (2007), com adaptações de Etchepare et al., (2016).

Para isso, foi preparado 100 ml de uma mistura emulsionada de 2 % de alginato de sódio (Veetec, Rio de Janeiro, Brasil) e diferentes concentrações de óleo de chia. Após, a emulsão foi

adicionada a cultura probiótica *L. acidophilus* e a emulsão foi pulverizada em CaCl_2 0,1 M por um bico atomizador de fluido duplo (0,1 mm), a 12 cm da solução de CaCl_2 sob pressão de ar de 0,125 kgf / cm. Em seguida, as micropartículas foram mantidas sob agitação por 30 min na solução de CaCl_2 e peneiradas (0,038 mm e malha 400 mesh). As especificações da quantidade de constituintes de cada tratamento está presente na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição dos tratamentos com e sem microencapsulação.

Reagentes	Tratamentos					
	T₀	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅
Alginato de sódio	-	-	2 g	2 g	2 g	2 g
Cultura probiótica	-	1 g	1g	1 g	1 g	1 g
Óleo de chia	1g	-	-	10 g	15 g	20 g
Água	-	-	97 g	87 g	82 g	77 g

T₀ = óleo na forma livre sem microencapsular, T₁= cultura celular na forma livre de *L. acidophilus*, T₂ = micropartículas com *L. acidophilus* sem óleo, T₃= micropartículas com *L. acidophilus* com 10% de óleo, T₄= micropartículas com *L. acidophilus* com 15% de óleo e T₅= micropartículas com *L. acidophilus* com 20% de óleo

2.4 Caracterização das micropartículas

A morfologia das partículas foi avaliada utilizando um microscópio óptico (Carl Zeiss Axio Scope.A1, Oberkochen, Alemanha) equipado com uma câmera digital Axio Cam MRc (Carl Zeiss). Já a distribuição do tamanho de partícula foi determinada usando o equipamento de difração a laser Mastersizer 2000 (Malvern, Reino Unido).

2.5 Contagem de células viáveis

A contagem de células viáveis foi realizada de acordo com Sheu et al. (1993) e adaptada, onde 1 g de micropartículas foram pesadas e foi adicionado 9 ml de solução tampão fosfato de

potássio estéril (pH 7,5) e submetidas à agitação (160 rpm) em incubadora refrigerada com agitação TE-421 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) durante 60 minutos à temperatura ambiente. Posteriormente, foram realizadas diluições decimais seriadas até as diluições necessárias, plaqueamento em profundidade e adição de ágar MRS, em triplicata, e incubação a 37°C/72h em jarras de anaerobiose contendo gerador anaeróbio (Oxoid).

2.6 Avaliação das micropartículas em diferentes condições de armazenamento

Para avaliar a estabilidade dos probióticos nas micropartículas, contagens foram realizadas a cada 15 dias, e para avaliar a estabilidade oxidativa por meio da análise de peróxidos que foram avaliadas a cada 30 dias. As amostras foram armazenadas em tubos tipo Eppendorf® estéreis e protegidas da incidência de luz a 25°C, 7°C e -18°C, que simulam condições de temperatura ambiente, de refrigeração e de congelamento respectivamente, por um período de 90 dias.

2.7 Sobrevivência dos probióticos em condições gastrointestinais simuladas

Para avaliar a resistência das partículas frente a condições gastrointestinais simuladas, o método proposto por Madureira et al. (2011) com adaptações. Para isso, 1 g de micropartículas foi pesado, adicionado a 9 ml de solução salina (0,85%) e submetidas a agitação em incubadora refrigerada com agitação TE-421 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil), a 37 ± 2 °C. Após, foram submetidos a condições simuladas do esôfago/estômago (pH 2.0 / 90 min / 130 rpm) na presença de pepsina, condições simuladas do duodeno (pH 5.0 / 20 min / 45 rpm) na presença de pancreatina e sais biliares e, condições simuladas do íleo (pH 7.5 / 90 min / 45 rpm). Para a verificação das contagens probióticas, foram coletadas alíquotas ao final de cada etapa da simulação gastrointestinal, realizado o plaqueamento de acordo com o item 2.5

2.8 Resistência ao tratamento térmico

A resistência ao tratamento térmico foi avaliada como proposto por Zhang et al. (2014) com algumas modificações. Para isso, foi utilizado 1 g de micropartículas e 1 ml de cultura livre, ambos foram transferidos para tubos de ensaio contendo 9 ml de solução salina (0,85%) estéril. O conteúdo foi então submetido a diferentes condições térmicas, sendo 72 ± 1 °C por 15 segundos e 63 ± 1 °C por 30 minutos, simulando a pasteurização rápida e lenta respectivamente. Após processo de pasteurização, os tubos foram ligeiramente resfriados por imersão em gelo por 10 minutos. Por fim, as alíquotas foram coletadas e as micropartículas rompidas utilizando 9 ml de tampão fosfato de potássio estéril (pH 7,5) e utilizada a agitação em incubadora refrigerada com agitação TE-421 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil), e a viabilidade celular foi determinada seguindo o item 2.5.

2.9 Eficiência de encapsulação dos probióticos

A eficiência de encapsulação (EE%) dos probióticos foi calculada conforme proposto por Martin et al. (2013) a partir da Eq. (1).

$$\text{Eq. 1. } EE = (N / N_0) \times 100$$

N= número de células viáveis (log UFC/g) que foram libertadas pelo rompimento das micropartículas e N₀= número de células viáveis (log UFC/g) no concentrado de células antes da microencapsulação.

2.10 Extração lipídica

Para obtenção do óleo microencapsulado para a realização das análises, foi utilizado o método de Bligh e Dyer (1959), com algumas adaptações. Foi utilizada a solução de

clorofórmio estabilizada com hidroxitolueno butilado (BHT), onde foi dissolvido 0,2g de BHT em 1000 mL de clorofórmio, sob proteção de capela e as soluções em temperatura ambiente. A água adicionável presente na metodologia original de Bligh e Dyer (1959), foi substituída por tampão fosfato pH 7,5, utilizado para auxiliar o rompimento das cápsulas e facilitar a extração do óleo interno.

Foram utilizados tubos tipo Falcon® de 50 ml, assim, foi pesado 1,0 g de amostra e adicionado 6,0 ml de tampão fosfato pH 7,5 e homogeneizado por meio de incubadora refrigerada com agitação TE-421 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil), a 160 rpm por 60 minutos. Após, adicionou-se 16 ml de metanol e 8 ml de clorofórmio e homogeneizado por 30 minutos a 250 rpm em mesa agitadora orbital (Q225M, Quimis, BR). Após esse período, foram adicionados 8 ml de clorofórmio e 8 ml de solução aquosa de sulfato de sódio 1,5% e novamente agitadas por 2 min. Então as amostras foram centrifugadas (MTD III PLUS, Metroterm, BR) a $1006 \times g$ por 5 min para a separação das fases aquosa e orgânica. Sendo que, em todas as análises realizadas, foi utilizada a fração orgânica.

2.11 Determinação de valor de peróxidos

Para a avaliação do índice de peróxidos foi utilizado a fração orgânica obtida pelo método de Bligh e Dyer (1959) adaptado. E realizada a análise conforme a metodologia descrita por Shantha & Decker (1994) a 500 nm e o resultado expresso em meq de O_2 por kg de lipídios.

Foi adicionado aproximadamente 0,06 g de óleo extraído em tubos de ensaio com rosca protegido da luz, após foi adicionado à solução de clorofórmio: metanol (7:3), agitado em vórtex, e adicionado à solução de Fe(II) e agitado, por fim, foi adicionado à solução de tiocianato de amônio e agitado, após foi incubado por 5 min e leitura em espectrofotômetro UV-VIS (Varian Cary 50 Probe, Melbourne, Austrália) em 500 nm. O valor do peróxido foi calculado utilizando uma curva padrão de solução de cloreto de ferro (III).

2.12 Determinação do perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa.

Cerca de 10 mL da fração orgânica, que contém os lipídios, obtida na etapa final do Bligh e Dyer (1959), adaptado, foram colocados em um tubo de ensaio de rosca abrigado da luz, após o solvente foi evaporado por meio de vácuo e em banho de aproximadamente 38°C. Após, foi transferido aproximadamente 0,02 g de óleo extraído em um tubo de ensaio de rosca abrigado da luz. Então, foi adicionado 200 µL da solução metanólica de 2 M de KOH e agitado vigorosamente em vórtex e deixar em banho-maria a 40°C por 5 minutos, onde os triglicerídeos foram convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAG), por esterificação, conforme o método nº 5509 da International Organization for Standardization (ISO, 1978), em triplicata. Após, foi adicionado 1 ml de hexano e agitado em vórtex, posteriormente, a parte superior do tubo contendo os ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) dissolvidos em hexano foi removida para análise cromatográfica.

As FAMES dissolvidas em hexano foram analisadas em cromatógrafo gasoso e detector de ionização de chamas (GC/FID, Star CX 3400, Varian, PA, Estados Unidos). A separação dos analitos foi realizada em uma coluna cromatográfica medindo 100 m × 0,25 mm d.i., e 0,20 µm de espessura de fase estacionária (HP-88, Agilent J&W, Bellefonte, Estados Unidos). Para tanto, 1 µL de EMAG foi injetado na porta do injetor operado à 250 °C no modo split (razão 1:30) e o arraste dos analitos feito pelo gás hidrogênio (pressão constante de 25 psi). O FID foi alimentado com hidrogênio, nitrogênio e ar sintético e operado à 250 °C. A temperatura inicial da coluna foi de 100 °C, na qual permaneceu por 2 min, aumentando para 175 °C a uma taxa de 10 °C/min, permanecendo por 10 min, aumentando depois a 210 °C a uma taxa de 4 °C/min, permanecendo por 5 min, em seguida, a 5 °C/min até 230 °C, permanecendo isotérmico por 12 min.

Os picos cromatográficos obtidos foram registrados no Sistema de Aquisição de Dados Baseline N2000, próprio do GC/FID, e assim foram utilizados para a identificação dos AG's

pela comparação dos seus respectivos tempos de retenção com os tempos de retenção dos picos obtidos de uma amostra contendo 37 padrões analíticos de ésteres de ácidos graxos (FAME Mix-37, Sigma Aldrich, Estados Unidos) e analisados nas mesmas condições cromatográficas que as amostras.

Segundo Visentainer (2012), após a identificação dos AGs, suas áreas de pico foram corrigidas utilizando fatores de correção específicos relacionados a tamanhos de cadeia equivalentes e fatores de conversão de éster em ácido. Finalmente, os ácidos graxos foram quantificados utilizando técnicas de normalização da área de pico e os resultados foram expressos em porcentagens.

2.13 Determinação da eficiência de encapsulação do óleo de chia

A eficiência de encapsulação (EE%) foi calculada em triplicata a partir da equação 2. O teor de óleo total (TO) nas micropartículas foi quantificado segundo a metodologia descrita por Bligh e Dyer (1959) e o óleo extraível (SO), normalmente referido como óleo de superfície, determinado de acordo com a metodologia de Davidov-Pardo et al. (2008).

$$EE = \frac{TO - SO}{TO} \times 100 \quad (02)$$

Onde: EE é a eficiência de encapsulação, TO é o teor total de óleo e o SO é o óleo extraível.

2.14 Análise estatística

Os testes foram realizados em triplicatas e os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas por teste de Tukey, com o auxílio dos programas SISVAR® e GraphPad Prism 8.0.2, considerando o nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

3 Resultado e discussão

3.1 Caracterização das micropartículas

De acordo com a Figura 1 (A), é possível observar que o tratamento branco apresenta micropartículas esférica e uniforme com material do núcleo distribuído por toda a matriz, sendo característica de cápsulas composta somente por alginato e cultura probiótica (Poletto et al., 2019). De mesmo modo, observamos as micropartículas dos tratamentos com as diferentes concentrações de óleo, apresenta forma com bordas irregulares e presença de gotículas de óleo disperso internamente da cápsula, como representado na Figura 1 (B, C e D). Forma das micropartículas similares foram relatadas no trabalho de Somacal et al. (2022).

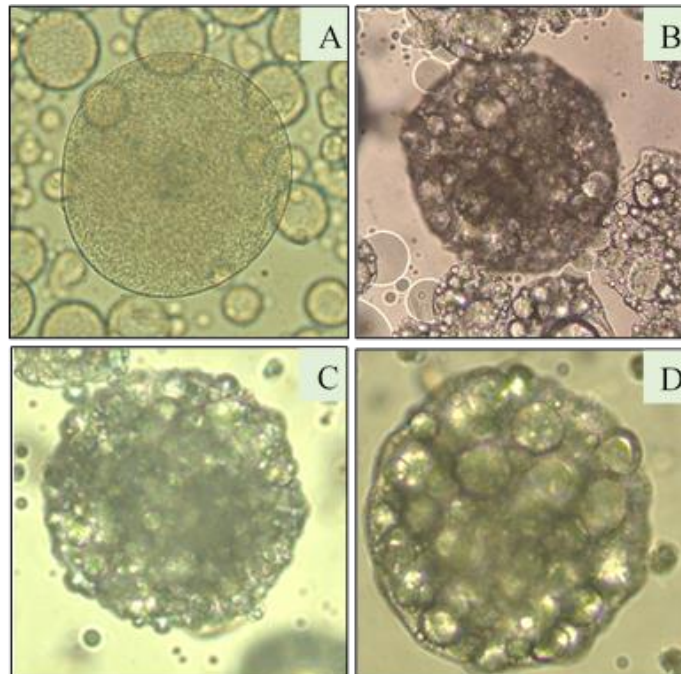


Figura 1- Morfologia das micropartículas nos diferentes tratamentos. Ampliação de 400x em microscópio óptico. A = micropartículas com *L. acidophilus* sem e óleo (T2), B = micropartículas com *L. acidophilus* e 10% de óleo (T3), C = micropartículas com *L. acidophilus* e 15% de óleo (T4) e D = micropartículas com *L. acidophilus* e 20% de óleo (T5).

Segundo Lee & Heo, (2000), quanto maior forem as micropartículas, pode-se tornar perceptível ao paladar, para isso, são necessárias mais análises para confirmar. O tamanho das

micropartículas é um importante parâmetro para avaliação sensorial e proteção do material encapsulado (Heidebach; Först; Kulozik, 2009). Também, quanto maior a micropartículas, melhor será a proteção dos probióticos e substâncias aprisionadas no interior da cápsula (Hansen et al., 2002).

As micropartículas de alginato podem variar seu tamanho, para Dong, (2022), o tamanho médio de partícula que variou de 42 µm até aproximadamente 1000 µm. Neste estudo, os tamanhos de partícula se situaram em seu tamanho médio, onde, as partículas produzidas variaram de 206,33 µm (T2) a 362,66 µm (T5) de diâmetro.

Essa diferença de tamanho das partículas é originária da emulsão, assim como apresentou Hosseini et al. (2013), quanto maior a quantidade de óleo, tem maior incorporação de ar, assim, variando o tamanho. No presente trabalho foi possível observar que a micropartícula contendo o maior teor de óleo é a mesma que apresentou o maior tamanho de partícula, com isso, considerando a emulsão, há uma maior incorporação de ar e contribuindo para o tamanho das micropartículas.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 2, observa-se que a técnica de gelificação iônica externa promoveu elevada eficiência de encapsulação (EE%) de *Lactobacillus acidophilus* (89,29 a 98,68%) com diferenças significativas ($p < 0,05$) e elevada eficiência de encapsulação do óleo de chia (97,44 a 99,01%).

As melhores eficiências de encapsulação do probiótico, foram observadas nos tratamentos T5, T2, T4 e T3, com 98,68, 97,27, 92,50 e 89,29%, respectivamente. A alta eficiência de encapsulação observada neste estudo pode ser devida à resistência natural do microrganismo e às condições de encapsulação, que foi realizada em temperatura ambiente (25°C), sem uso de solventes orgânicos (Souza et al., 2012).

As melhores eficiências de encapsulação (EE%) do óleo, foram observadas nos tratamentos T4, T3, T5 e, com 99,01, 98,44 e 97,44%, respectivamente. Desta forma, os

resultados assim como apresentado por Somacal et al. (2022), onde microencapsulou óleo de origem fúngica pela metodologia de gelificação iônica, o tratamento com maior eficiência de encapsulação é o que contém 15% de óleo microbiológico. Bem como foi observado no presente trabalho, tanto quanto da autora citada acima, que há um limiar de encapsulação em torno de 20% de óleo microencapsulado por gelificação iônica, onde que acima dessa porcentagem a eficiência tenderá a diminuir. Entretanto, com a possibilidade de aumentar o teor de material encapsulante, pode modificar o limiar e melhorar a eficiência, porém é necessário a realização de mais estudos.

A alta eficiência na encapsulação do óleo foi descrito também no trabalho de Başıyğit et al. (2021), onde foram encontrados valores similares ao presente trabalho, porém menores na microencapsulação de azeite de oliva extra virgem pela metodologia de spray-dryer, obtendo valores de 88,15% a 97,71%, onde prova que a microencapsulação de óleos tem promissora eficiência.

Tabela 2- Tamanho médio das micropartículas e eficiência de encapsulação do probiótico e óleo

Tratamentos	Tamanho médio de partícula	EE %	EE %
	(μm)	Probiótico	Óleo
T2	206,33 \pm 6,65 ^d	97,27 \pm 0,12 ^b	-
T3	272,33 \pm 2,08 ^c	89,29 \pm 0,18 ^d	98,37 \pm 0,25 ^b
T4	328,67 \pm 2,08 ^b	92,50 \pm 0,06 ^c	99,01 \pm 0,45 ^a
T5	362,66 \pm 0,57 ^a	98,68 \pm 0,03 ^a	97,44 \pm 0,18 ^c

Médias seguidas de diferentes letras minúsculas diferem estatisticamente na coluna (teste de Tukey, $p < 0,05$). T₂ = micropartículas com *L. acidophilus*, T₃= micropartículas com *L. acidophilus* com 10% de óleo, T₄= micropartículas com *L. acidophilus* com 15% de óleo e T₅= micropartículas com *L. acidophilus* com 20% de óleo.

3.2 Avaliação da viabilidade do *L. acidophilus* microencapsulado com óleo de chia, frente as condições de armazenamento

A viabilidade dos probióticos é um parâmetro de extrema importância para constatar que terá colonização intestinal e competir com bactérias patogênicas, e ter a atuação positiva no intestino humano, para isso é necessário que a contagem probiótica viável seja superior, ou aproximado a 6,00 log UFC/g (Yoha et al., 2022).

Com esse fato, a viabilidade do probiótico microencapsulado em 25°C representada na Figura 2 (A) , foi superior nos tratamentos T5, T1, T3 e T4, em ordem decrescente de viabilidade, mantendo a sobrevivência das células por 90 dias de armazenamento, somente o tratamento T2 foi inferior aos demais tratamentos durante todo o período de armazenamento, deste modo, perdendo sua viabilidade em aproximadamente 75 dias. Em um trabalho da literatura, os resultados obtidos são similares a este estudo, segundo os autores Samedi & Charles, (2019), foi realizada a avaliação da viabilidade durante o período de armazenamento de bactérias probióticas a 25°C por 90 dias, resultando na viabilidade acima de 6,00 log UFC/g de cultura probiótica no armazenamento em temperatura ambiente. De mesma forma, corroborando com o presente estudo, a autora Etchepare et al. (2016), microencapsulou *Lactobacillus acidophilus* por gelificação iônica, os probióticos mantiveram alta viabilidade na temperatura a 25°C, sendo superior as demais temperaturas testadas.

No armazenamento de em 7°C representado na Figura 2 (B) os tratamentos T4, T3 e T5, ou seja, as cápsulas com óleo, mantiveram a viabilidade dos microrganismos até o final do tempo de armazenamento, mas já os tratamentos T1 e T2, perderam a viabilidade nos dias 60 e 75 respectivamente do tempo de armazenamento. Este resultado apresentado foi similar ao trabalho de Poletto et al. (2019), onde microencapsulou *Lactobacillus acidophilus* juntamente com diferentes fontes prebióticas por meio a gelificação iônica externa e alcançou viabilidade na temperatura de refrigeração além dos 90 dias de armazenamento.

Em relação ao armazenamento em -18°C, na temperatura de congelamento, o tratamento que melhor manteve a viabilidade do probiótico foi o T2, sendo superior aos demais

tratamentos, onde o T1 e T3 obtiveram os menores valores logarítmicos ao final dos 90 dias de armazenamento como apresentado na Figura 2 (C). A literatura aborda que a temperatura de congelamento geralmente mantém a viabilidade dos probióticos microencapsulados, entretanto a viabilidade pode ser reduzida caso o congelamento seja lento, acarretando na formação de grandes cristais de gelo, desestruturando a parede da cápsula, com isso, reduzindo sua capacidade protetora, além de danificar as células probióticas e com esses fatores levam a eliminação ou redução da contagem bacteriana viável (Marques da Silva et al., 2018, Campos-Espinoza, Castaño-Agudelo, & Rodriguez-Llamazares, 2022)

Portanto, pelos resultados obtidos nas temperaturas ambiente 25°C e de refrigeração 7°C, a observação do comportamento dos tratamentos T3, T4 e T5, é perceptível pelos dados apresentados na Figura 2 (A e B), que o óleo possivelmente atuou positivamente na proteção e viabilidade dos probióticos durante o armazenamento, pois se mantiveram com contagem microbiológica acima de 6,00 log UFC/g, representando bom resultado ao mínimo exigido para uma atuação positiva ao intestino (Yoha et al., 2022). Além do mais, o presente achado, se revelou ser superior aos relatos da literatura, como o trabalho de Paula et al. (2019), onde foi relatado a perda da viabilidade de aos 25 dias na temperatura de 25°C, e por Shahmoradi et al., (2023), que co-encapsulou *Lactobacillus acidophilus*, selênio e mucilagem de semente de manjerição, onde verificou a perda da viabilidade nas temperaturas de refrigeração e ambiente em 14 e 21 dias, respectivamente. Entretanto, Da silva et al. (2023), obteve viabilidade durante o armazenamento de 120 dias, utilizando micropartículas contendo *L. acidophilus* nas temperaturas de 25°C e 5°C, assim como o presente trabalho.

3.3 Avaliação da estabilidade lipídica do óleo de chia livre e microencapsulado, frente ao armazenamento

Primeiramente, os valores iniciais de peróxidos foram relativamente altos para início de

análise, porém, o óleo utilizado advém comercialmente, onde na indústria alguns parâmetros como a temperatura de torra das sementes, pode influenciar diretamente na oxidação lipídica e além disso o processo de envase, transporte e armazenamento inadequado podem prejudicar a estabilidade do óleo, assim, explica-se o valor inicial da análise (Ghafoor et al., 2020).

O valor de peróxido é um parâmetro representativo que mede a oxidação em óleos através dos produtos de oxidação primária, os hidroperóxidos de ácidos graxos (ROOH) segundo Longobardi et al. (2021).

Na análise de peróxidos, foi observado que como os dados apresentados na Figura 2 D, E, e F, onde, de mesmo modo que a microencapsulação alcançou a proteção dos probióticos, no óleo teve o mesmo efeito, pois, os tratamentos de óleo microencapsulado, T3, T4 e T5, permaneceram mais estáveis em relação ao controle (T0) durante os 90 dias de armazenamento nas temperaturas 25°C , 7°C e -18°C.

Os valores mais elevados de hidroperóxidos foram encontrados em temperatura ambiente 25°C de armazenamento, Figura 2 (D), sendo os tratamento T0 (controle) e T3, apresentando os maiores níveis de oxidação lipídica, resultado similar ao trabalho de Somacal et al. (2022), que já havia observado uma elevada oxidação lipídica no óleo microbiológico microencapsulado e no óleo livre armazenados à 25°C em relação a temperatura de refrigeração. Porém, na temperatura de armazenamento de -18°C, o T3 foi o tratamento com o menor valor de oxidação nos 90 dias de armazenamento, o resultado representado na Figura 2 (F), presume-se que obteve menores valores na oxidação lipídica pelo fato de a menor temperatura reduzir as atividade da oxidação dos componentes do óleo (Soyer et al., 2010). Na temperatura de 7°C, os tratamentos com o óleo microencapsulado obtiveram valores de peróxidos abaixo do controle (T0), o menor valor comparado a todos os tratamentos é do T4, contudo só foi possível a observação após 60 dias de armazenamento, resultado apresentado na Figura 2 (E).

No presente estudo, os resultados foram similares ao trabalho de Copado, Julio, Diehl,

Ixtaina, & Tomás, (2021), onde microencapsularam óleo de chia, e obteve em seus resultados que o óleo na forma livre atingiu níveis superiores de peroxidação ao final do tempo de armazenamento de 90 dias, aproximadamente 18,99 meq de peróxido/kg de óleo, em relação aos tratamentos microencapsulados. Neste estudo, foi encontrado resultados similares a literatura atual, como os trabalhos de Us-Medina et al. (2018), onde foi encapsulado óleo de chia pela metodologia de spray-dryer, avaliando diferentes camadas a parede das microcápsulas para proteção a oxidação lipídica, sendo a microencapsulação eficiente contra o processo de oxidação, no trabalho de Mu et al. (2022), encapsularam óleo de alga microencapsulado por coacervação e foi observado que o óleo microencapsulado manteve o baixo valor de oxidação lipídica comparado com o óleo livre, e por fim o trabalho de Ganãñ et al. (2020), que microencapsulou óleo de chia em micropartículas de proteína de soja e foi avaliado a estabilidade oxidativa durante o período de armazenamento, analisando os valores de hidroperóxidos em diferentes tempos de armazenamento, observou-se um aumento de hidroperóxidos para óleo livre, ademais, o óleo encapsulado se manteve constantemente em valores inferiores de oxidação relacionados ao óleo livre. Sendo assim, os resultados confirmam o achado em que mostrou o poder de proteção da microencapsulação na estabilidade lipídica do óleo.

Além disso, por se tratar de uma emulsão, há presença de ar dentro das cápsulas, logo, é um fator que contribuiu para a oxidação lipídica no interior das micropartículas.

Um ponto considerável a ser abordado é que ao valor mais elevado de peróxidos encontrado durante o armazenamento, do presente trabalho não ultrapassou os 15 meq/kg de óleo, onde é o limite recomendado estabelecido pelo Codex Alimentarius para o consumo deste tipo de óleo. (*Codex Alimentarius, Fats, Oils and Related Products*, 2001).

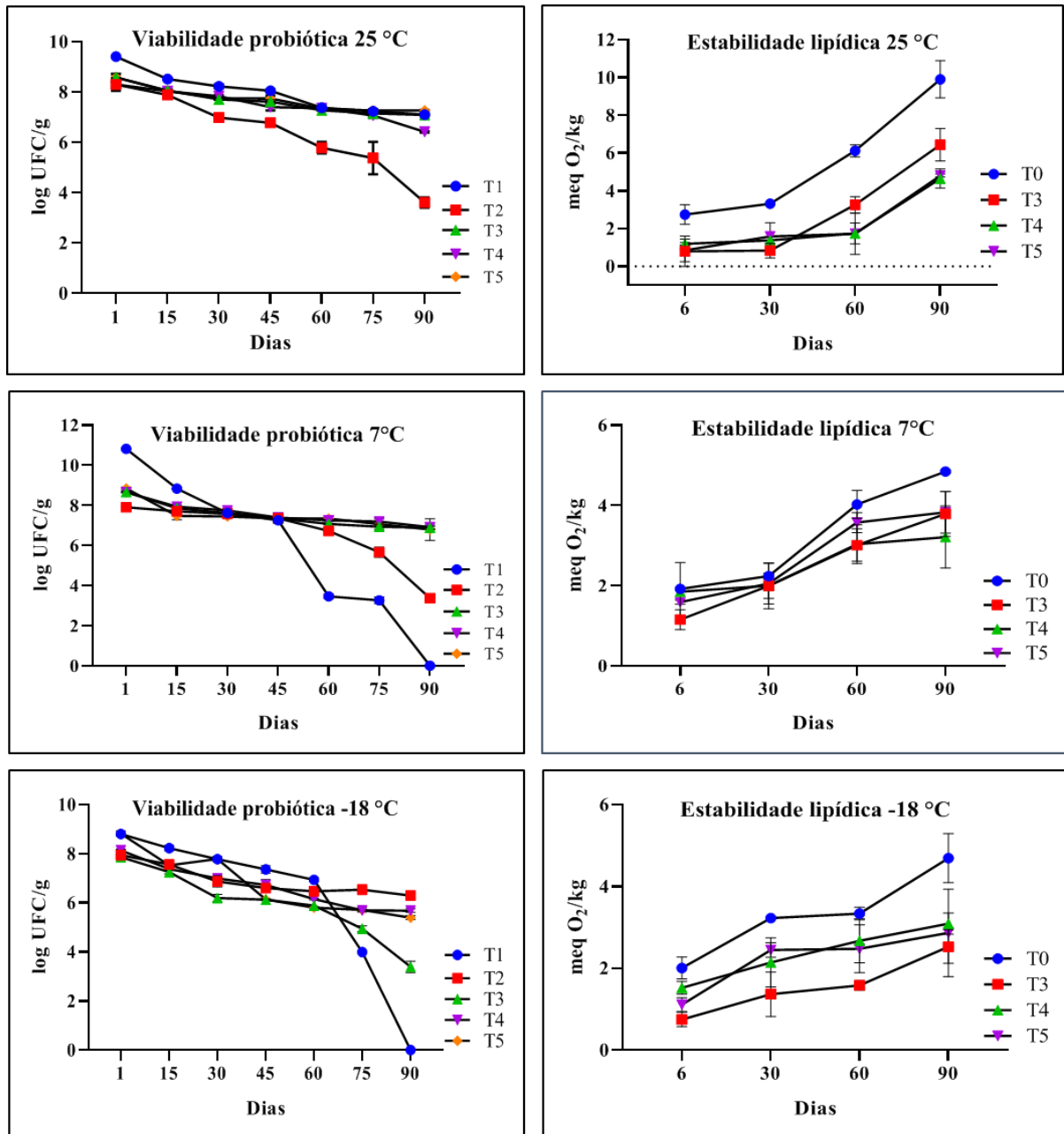


Figura 2 - Viabilidade e estabilidade de *L. acidophilus* e do óleo microencapsulados ao armazenamento. T₀= óleo na forma livre T₁= cultura celular na forma livre de *L. acidophilus*, T₂ = micropartículas com *L. acidophilus* sem e óleo, T₃= micropartículas com *L. acidophilus* com 10% de óleo, T₄= micropartículas com *L. acidophilus* com 15% de óleo e T₅= micropartículas com *L. acidophilus* com 20% de óleo

3.4 Avaliação da resistência do *L. acidophilus* co-encapsulado e livre ao tratamento térmico

A resistência térmica das substâncias microencapsuladas foi testada, a fim de verificar a sua aplicação em alimentos que necessitam de tratamento térmico prévio no processamento.

Os probióticos livres e microencapsulados passaram pela simulação dos processos

de pasteurização rápida e lenta (72 ± 1 °C por 15 s e 63 ± 1 °C por 30 min, respectivamente) para avaliar os efeitos protetores das micropartículas contra altas temperaturas, uma vez que esses processos são utilizados como etapa fundamental na produção de diversos alimentos e bebidas. Assim, a resistência ao tratamento térmico a 72 ± 1 °C por 15 s simulado do *L. acidophilus* na condição microencapsulada com óleo (T3, T4 e T5) se mostraram mais eficientes do que os tratamentos microencapsulado sem óleo (T2) e a cultura livre (T1), destacando o tratamento T5 que obteve a maior viabilidade de aproximadamente 8,58 log UFC/g, seguido pelo tratamento T4 com 8,35 log UFC/g, resultados apresentados da Figura 3 (A). De mesma maneira que a condição anterior, a avaliação a 63 ± 1 °C por 30 min os tratamentos que estão o probiótico e o óleo obtiveram os melhores resultados, sendo o tratamento T5, novamente, com a maior viabilidade 6,57 log UFC/g, seguido pelo tratamento T3 com 6,43 log UFC/g, resultados apresentados da Figura 3 (B). Ao encontro dos achados do presente estudo, o trabalho de Wang et al. (2019) relataram que *Lactiplantibacillus pentosus* foi capaz de sobreviver por 30 min a 65 °C encapsulado com um revestimento duplo de quitosana e fitato de sódio.

Em ambos testes é possível observar que a cultura livre T1 e a partícula somente com a bactéria T2, obtiveram valores menores que o considerado ideal para a viabilidade de aproximadamente 6 log UFC/g relatado por Yoha et al. (2022). Os promissores resultados são comparados com o trabalho de Angélica et al. (2020), onde microencapsulou *L. acidophilus* pela técnica de gelificação iônica externa com quitosana e foi submetido ao estresse térmico e observou que o probiótico microencapsulado manteve a viabilidade em relação a cultura livre. Percebe-se que, os resultados obtidos para este teste estão diretamente relacionados à concentração de óleo dentro da micropartícula. Corroborando com isso, o tratamento T5 revelou superioridade na proteção de ambos de forma geral. Presume-se que, a presença do óleo absorveu parte da energia térmica empregado no teste, minimizando o choque-térmico e deste

modo protegendo os probióticos do estresse térmico (Costa et al., 2009, Liu et al., 2015).

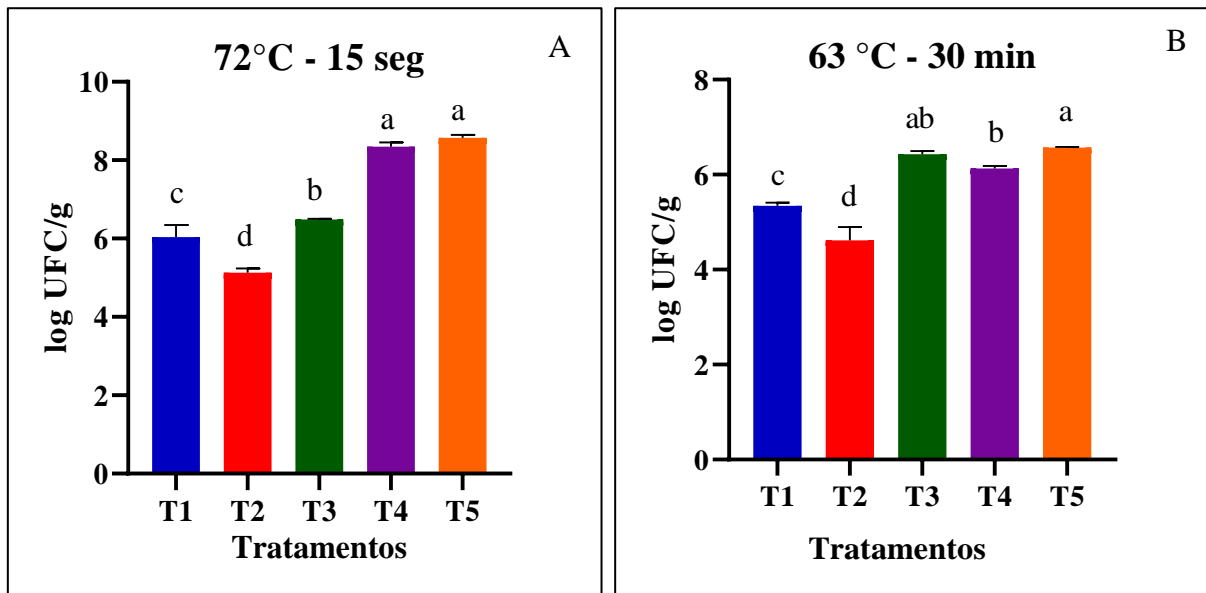


Figura 3.- Viabilidade do *L. acidophilus* microencapsulados e livres na simulação ao tratamento térmico, onde, a diferença estatisticamente (teste de Tukey, $p < 0,05$) entre os tratamentos é representada por diferentes letras. T₁= cultura celular na forma livre de *L. acidophilus*, T₂ = micropartículas com *L. acidophilus* sem e óleo, T₃= micropartículas com *L. acidophilus* com 10% de óleo, T₄= micropartículas com *L. acidophilus* com 15% de óleo e T₅= micropartículas com *L. acidophilus* com 20% de óleo

3.5 Avaliação da resistência de *L. acidophilus* microencapsulados e livres em condições gastrointestinais simuladas

O potencial de hidrogênio (pH) é um fator crucial que pode limitar a taxa de sobrevivência e conseqüentemente a viabilidade dos probióticos, especialmente em valores baixos (Sathyabama et al., 2014). O resultado da contagem de células viáveis de *L. acidophilus* livres e nos diferentes tratamentos microencapsulados com e sem óleo relacionado às condições simuladas do sistema digestivo está descrito na Figura 4.

Ao iniciar a simulação gastrointestinal, o tratamento T1 apresentou alta contagem, de aproximadamente 8,00 log UFC g⁻¹ e o tratamento T2 apresentou um elevado resultado próximo a 6,00 log UFC g⁻¹, os demais tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram os menores resultados na primeira etapa do teste simulando o estômago chegando ao pH 2 após 90

minutos. Os baixos valores de contagem micrológica relacionando os tratamentos das micropartículas com probiótico mais o óleo com a cultura livre não se deve a perda da viabilidade, mas sim, a não ruptura das partículas que poderia liberar os microrganismos no estômago (Raddatz et al., 2020).

Após os 90 minutos de permanência na simulação do estômago, iniciou a fase da passagem pelo duodeno, sendo elevado o pH até 5 onde cada amostra permaneceu por 20 minutos. Onde, foi perceptível a redução da célula livre (T1) para aproximadamente 4,02 log UFC/g, já o tratamento T2 aumentou para 6,62 log UFC/g, havendo a possibilidade de ter ocorrido o rompimento parcial das cápsulas, onde o trabalho de Deus et al. (2023), relata que no teste de resistência gástrica, no momento do duodeno pode ocorrer rompimento parcial das cápsulas. Os demais tratamentos, T3, T4 e T5 mantiveram estáveis durante a simulação do duodeno, com aproximadamente 4,20 log UFC/g.

Por último, na fase simulada do íleo, foi ajustado o pH 6,5, onde a célula livre (T1), reduziu ainda mais sua viabilidade comparada com as outras etapas, com aproximadamente 3,87 log UFC/g, o tratamento T2 teve um aumento na contagem de aproximadamente 7,00 log UFC/g, e os tratamentos T3, T4 e T5 obtiveram aproximadamente 7,00 log UFC/g, 7,29 log UFC/g e 7,51 log UFC/g respectivamente, sendo observado o aumento da contagem microbiológica advindo do rompimento completo das partículas.

Portanto, assim como os resultados promissores do presente trabalho, encontram-se superiores ao encontrado da literatura, onde o autor Shahmoradi et al. (2023), descreve que durante o teste em condições gastrointestinais simuladas, houve uma redução da viabilidade do *L. acidophilus* na forma livre, chegando ao final dos 90 minutos representando o estômago com aproximadamente 2,50 log UFC/g, contudo, o *L. acidophilus* microencapsulado manteve a viabilidade até o intestino e chegando ao final do teste com 4,06 log UFC/g. Entretanto, o trabalho de Sekhavatizadeh, Afrasiabi, & Montaseri, (2023), obteve uma taxa

de sobrevivência de 48,43% para o *L. acidophilus* microencapsulado e para o *L. acidophilus* na forma livre a taxa de sobrevivência foi inferior, sendo 30,57%, com isso a microencapsulação potencializou a proteção probiótica pela diferença na taxa de sobrevivência, ratificando os resultados do presente estudo.

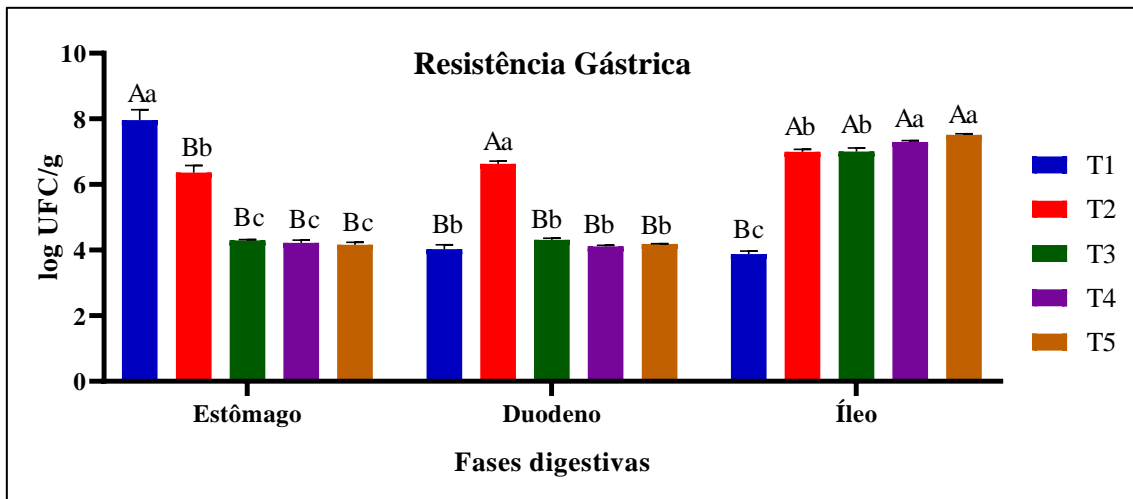


Figura 4 - Viabilidade do *L. acidophilus* microencapsulados e livres na simulação do sistema digestivo, onde, a diferença estatisticamente (teste de Tukey, $p < 0,05$) entre as diferentes etapas do sistema digestivo por diferentes letras maiúsculas e minúsculas a diferença entre os tratamentos. T₁= cultura celular na forma livre de *L. acidophilus*, T₂ = micropartículas com *L. acidophilus* sem e óleo, T₃= micropartículas com *L. acidophilus* com 10% de óleo, T₄= micropartículas com *L. acidophilus* com 15% de óleo e T₅= micropartículas com *L. acidophilus* com 20% de óleo

3.6 Avaliação do perfil lipídico ao longo do tempo e condições de armazenamento

Para avaliar o comportamento dos ácidos graxos, foi investigado a interferência do armazenamento nas temperaturas de 7°C e -18°C, no perfil lipídico durante os 90 dias de armazenamento, com verificação nos dias 1, 60 e 90, sendo avaliado aumento ou redução dos valores considerando os tempos iniciais e finais com diferença estatística. Os valores a serem discutidos estão presentes na Tabela 3.

Neste estudo, foi encontrado 5 picos cromatográficos majoritários do total de ácidos graxos identificados no controle e nas micropartículas, sendo eles o ácido palmítico (16:0), ácido esteárico (18:0), ácido oleico (18:1 n-9), ácido linoleico (18:2 n-6) e α -ácido linolênico

(18:3 n-3). Formando aproximadamente 98% da composição total em teor de ácidos graxos no controle e nas micropartículas.

Para a discussão destes resultados foi optado pelos três principais ácidos graxos encontrados em maior quantidade nas amostras, sendo eles o ácido graxo ácido oleico, ácido linoleico, α -ácido linolênico, pois além de terem valores superiores aos demais, são fontes de ômega 9, ômega 6 e ômega 3 respectivamente (Cruz-Tirado et al., 2021, Rodríguez, et al., 2023, Romano et al., 2021).

Primeiramente, o ácido graxo oleico (18:1 n-9) ao final do tempo de armazenamento apresentou valores aproximados em todos os tratamentos, sendo eles na temperatura de 7°C, T0= 23,81%, T3= 24,83%, T4= 24,24% e T5= 24,94%, e em -18°C, T0= 24,32%, T3= 24,23%, T4= 23,58% e T5= 23,74%. Os valores encontrados no presente trabalho mantiveram superiores aos valores encontrados na literatura atual, como no trabalho de Anand et al. (2024), onde microencapsularam óleo de semente de chia por liofilização, e foi encontrado teor de ácido oleico aproximado de 13,20% no óleo microencapsulado.

Em relação ao ácido graxo linoleico (18:2 n-6), os valores obtidos ao final do tempo de armazenamento foram aproximados em todos os tratamentos, os valores encontrados foram, na temperatura de 7°C, T0= 19,50%, T3= 19,74%, T4= 19,82% e T5= 19,96%, e em -18°C, T0= 19,51%, T3= 19,64%, T4= 19,53% e T5= 19,67%. Os resultados de Oteri et al. (2022), onde caracterizaram os ácidos graxos presentes no óleo de chia, demonstraram um valor encontrado para o ácido graxo linoleico de aproximadamente 19,23%, sendo assim, similar aos resultados do presente trabalho.

Em destaque, o elemento principal da análise é o ácido graxo α -ácido linolênico (18:3 n-3), pois, é o precursor de ômega-3 vegetal, onde assumiu porcentagens menores que na literatura segundo o trabalho de Martínez et al. (2015), onde foi encontrado aproximadamente 61,8% de α -ácido linolênico em óleo de chia, contudo, do total de picos encontrados no presente

estudo, foi o que prevaleceu tendo variado seu teor de aproximadamente 42,64 – 44,36%, englobando todos os tratamentos. Ao final do tempo de armazenamento, foi encontrado os valores aproximados em 7°C, T0= 44,35%, T3= 42,71%, T4= 43,36% e T5= 42,64%, e em -18°C, T0= 43,32%, T3= 43,27%, T4= 44,24% e T5= 43,97%. Em relação aos teores de α -ácido linolênico, os resultados do presente trabalho ao final do tempo de armazenamento são similares ao encontrado por Gañan et al. (2020), que microencapsulou óleo de chia por impregnação supercrítica assistida por CO₂, e encontrou no tempo 90 dias de armazenamento aproximadamente 47,30%.

Ao observar os valores na Tabela 3, há variações estatisticamente significativas dos ácidos graxos nos diferentes tratamentos, entretanto, ambos se mantiveram próximos aos valores de controle (T0) nas duas temperaturas testadas, sendo assim, as micropartículas não interferiram nos valores de ácidos graxos. Ademais, esses aumentos e diminuições podem ser variáveis oriundas no processo para à análise, pois o óleo passa pelo processo de extração, esterificação e injeção no equipamento, deste modo, contribuindo por variar os resultados, entretanto, os valores se mantiveram próximos sem grandes discrepâncias (Imran et al. 2016).

Substância	Dias	7°C				-18°C			
		Tratamentos				T0	T3	T4	T5
		T0	T3	T4	T5				
16:0 ácido palmítico	1	8,08 ± 0,62 ^{Aa}	8,43±0,42 ^{Aa}	7,85± 1,04 ^{Aa}	7,64± 0,43 ^{Ab}	7,87±0,11 ^{Aa}	8,81±0,67 ^{Aa}	8,88±0,38 ^{Aa}	8,49±0,54 ^{Aa}
	60	7,55±0,79 ^{Bab}	9,08±0,27 ^{Aa}	9,05±0,12 ^{Aa}	9,23±0,33 ^{Aa}	7,52±0,51 ^{Ba}	9,66±0,13 ^{Aa}	9,71±0,27 ^{Aa}	9,53±0,89 ^{Aa}
	90	6,34±0,03 ^{Ab}	6,24±0,11 ^{Ac}	6,44±0,05 ^{Ac}	6,21±0,23 ^{Ac}	6,25±0,16 ^{Ab}	6,28±0,05 ^{Ab}	6,48±0,25 ^{Ab}	6,35±0,07 ^{Ab}
18:0 ácido esteárico	1	5,24±0,31 ^{Aa}	5,64±0,28 ^{Aa}	5,65±0,25 ^{Aa}	5,00±0,10 ^{Aa}	5,21±0,04 ^{Aa}	5,59±0,05 ^{Aa}	5,16±0,70 ^{Aa}	5,60±0,11 ^{Aa}
	60	4,90±0,09 ^{Aa}	4,50±0,28 ^{Ab}	4,27±0,23 ^{Ab}	4,64±0,09 ^{Ab}	7,89±0,02 ^{Aa}	4,26±0,12 ^{Ab}	4,46±0,16 ^{Aa}	4,41±0,24 ^{Ab}
	90	4,83±0,06 ^{Aa}	5,10±0,34 ^{Aab}	5,00±0,10 ^{Ac}	5,00±0,09 ^{Aa}	5,34±0,25 ^{Aa}	6,28±0,05 ^{Aa}	5,00±0,08 ^{Aa}	5,03±0,26 ^{Aab}
18:1 n-9 cis ácido oleico	1	22,84±0,25 ^{Aa}	22,33±0,54 ^{Ab}	23,31±0,9 ^{Aa}	23,01±0,67 ^{Ab}	22,75±0,35 ^{Ab}	22,21±0,53 ^{Ab}	22,23±0,38 ^{Ab}	22,53±0,59 ^{Aa}
	60	23,65±0,11 ^{Aa}	22,84±0,49 ^{Ab}	22,77±0,47 ^{Aac}	23,14±0,41 ^{Ab}	23,80±0,38 ^{Aab}	22,10±0,55 ^{Bb}	22,32±0,30 ^{Bab}	22,69±0,45 ^{ABa}
	90	23,81±0,24 ^{Aa}	24,83±0,29 ^{Aa}	24,24±0,29 ^{Aab}	24,94±0,04 ^{Aa}	24,32±0,53 ^{Aa}	24,23±0,34 ^{Aa}	23,58±0,07 ^{Aa}	23,74±0,45 ^{Aa}
18:2 n-6 cis ácido linoleico	1	18,26±0,88 ^{Ab}	18,12±0,22 ^{Ab}	17,80±0,73 ^{Ab}	18,74±0,46 ^{Aa}	18,76±0,27 ^{Aa}	17,95±0,27 ^{Ab}	18,44±0,18 ^{Ab}	18,22±0,15 ^{Ab}
	60	19,59±0,04 ^{Aa}	18,29±0,35 ^{Bb}	18,60±0,05 ^{ABab}	18,77±0,69 ^{ABa}	19,48±0,05 ^{Aa}	19,23±0,34 ^{Aa}	18,70±0,43 ^{Aab}	18,99±0,74 ^{Aab}
	90	19,50±0,14 ^{Aab}	19,74±0,17 ^{Aa}	19,82±0,06 ^{Aa}	19,96±0,06 ^{Aa}	19,51±0,29 ^{Aa}	19,64±0,04 ^{Aa}	19,53±0,19 ^{Aa}	19,67±0,05 ^{Aa}
18:3 n-3 α -ácido linolênico	1	43,46±0,11 ^{Aa}	43,18±0,46 ^{Aa}	43,00±0,56 ^{Aa}	43,14±0,09 ^{Aa}	43,14±0,10 ^{Aa}	43,10±0,07 ^{Aa}	42,98±0,25 ^{Ab}	43,12±0,03 ^{Aa}
	60	43,24±0,47 ^{Aac}	43,25±0,13 ^{Aa}	43,31±0,36 ^{Aa}	43,11±0,32 ^{Aa}	43,22±0,14 ^{Aa}	43,60±0,77 ^{Aa}	42,91±0,34 ^{Ab}	43,05±0,17 ^{Aa}
	90	44,35±0,04 ^{Aab}	42,71±0,58 ^{Ba}	43,36±0,40 ^{ABa}	42,64±0,03 ^{Ba}	43,32±0,37 ^{Aa}	43,27±0,60 ^{Aa}	44,24±0,16 ^{Aa}	43,97±0,66 ^{Aa}

Tabela 3 - Perfil lipídico majoritário encontrado no óleo de chia livre e microencapsulado onde a diferença estatisticamente (teste de Tukey, $p < 0,05$) entre os tratamentos é representada pelas diferentes letras maiúsculas e letras minúsculas diferentes representam a diferença entre os dias de armazenamento nas respectivas temperaturas. T₀ = óleo na forma livre sem microencapsular, T₃= micropartículas com *L. acidophilus* com 10% de óleo, T₄= micropartículas com *L. acidophilus* com 15% de óleo e T₅= micropartículas com *L. acidophilus* com 20% de óleo.

4 Conclusão

A microencapsulação de *L. acidophilus* com óleo de chia se mostrou uma excelente alternativa de proteção das substâncias para a maior e melhor entrega ao consumidor. O óleo de chia foi inserido com êxito nas micropartículas e ajudou a manter a viabilidade dos probióticos. Na avaliação da viabilidade de ambas as substâncias, os tratamentos envolvendo a microencapsulação do probiótico juntamente com o óleo apresentaram resultados excelentes e promissores. Em relação a temperatura ideal de armazenamento que atenda às necessidades de proteção de ambas substâncias, o ideal é o intermediário, pois, em relação ao probiótico, a melhor temperatura de armazenamento foi a 25°C, já para a estabilidade lipídica os melhores resultados foram em -18°C, porém, em ambos testes a temperatura de refrigeração 7°C se fez presente como resultados favoráveis, sendo aptos a incorporação de alimentos que sejam armazenados sob refrigeração, sugerindo a aplicação das micropartículas em bebidas, manteigas, antepastos, requeijão, entre outros alimentos refrigerados. É importante ressaltar que os resultados relacionados aos tratamentos envolvendo a microencapsulação do *Lactobacillus acidophilus* e óleo de chia, obtiveram os melhores resultados no tratamento térmico e no comportamento à digestão gastrointestinal simulada, protegendo assim, a viabilidade da bactéria probiótica. O perfil lipídico do óleo microencapsulado permaneceu estável na maioria dos ácidos graxos. Entre os tratamentos avaliados o T5 (com 20% de óleo) não obteve a maior eficiência de encapsulação do óleo, entretanto, ao restante das análises se destacou aos demais resultados, apresentando melhores resultados, sendo um ponto positivo a ser estudado futuramente. Comprova-se que, os resultados das análises aqui apresentados, colabora com estudos já descritos na literatura, bem como, com novos estudos sobre a temática que assim se faz necessário.

5 Referências

- Anand, V., Ksh, V., Kar, A., Varghese, E., Vasudev, S., & Kaur, C. (2024). Encapsulation efficiency and fatty acid analysis of chia seed oil microencapsulated by freeze-drying using combinations of wall material. *Food Chemistry*, 430(136960), 136960. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136960>
- Angélica Andrade Lopes, L., de Siqueira Ferraz Carvalho, R., Stela Santos Magalhães, N., Suely Madruga, M., Julia Alves Aguiar Athayde, A., Araújo Portela, I., Eduardo Barão, C., Colombo Pimentel, T., Magnani, M. e Christina Montenegro Stamford, T. (2020). Microencapsulação de *Lactobacillus acidophilus* La-05 e incorporação em leites veganos: Características físico-químicas e sobrevivência durante armazenamento, exposição a condições de estresse e simulação de digestão gastrointestinal. *Food Research International (Ottawa, Ontário)*, 135 (109295), 109295. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109295>
- Başıyigit, B., Yücepepe, M., Karaaslan, A., & Karaaslan, M. (2021a). High efficiency microencapsulation of extra virgin olive oil (EVOO) with novel carrier agents: Fruit proteins. *Materials Today. Communications*, 28(102618), 102618. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102618>.
- Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Calder, P. C. (2017). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. *Biochemical Society Transactions*, 45(5), 1105–1115. <https://doi.org/10.1042/bst20160474>
- Campos-Espinoza, F., Castaño-Agudelo, J., & Rodriguez-Llamazares, S. (2022).

- Polysaccharides systems for probiotic bacteria microencapsulation: mini review. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.95121>
- Codex Alimentarius, Fats, Oils and Related Products*. (2001). Rome, Italy.
- Copado, C. N., Julio, L. M., Diehl, B. W. K., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2021). Multilayer microencapsulation of chia seed oil by spray-drying using electrostatic deposition technology. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 152(112206), 112206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112206>
- Costa, E. C., Teixeira, M. F. S., Dantas, T. V. M., Melo, V. S. P., Araujo, S. A. C., & Rolim, B. N. (2009). Princípios da estocagem e preservação de amostras microbiológicas. *Ciência Animal*, 111–122.
- Cruz-Tirado, J. P., Oliveira, M., de Jesus Filho, M., Godoy, H. T., Amigo, J. M., & Barbin, D. F. (2021). Shelf life estimation and kinetic degradation modeling of chia seeds (*Salvia hispanica L.*) using principal component analysis based on NIR-hyperspectral imaging. *Food Control*, 123(107777), 107777. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107777>
- Da Silva, S. Â. D., Batista, L. da S. P., Diniz, D. S., Nascimento, S. S. da C., Morais, N. S., de Assis, C. F., Passos, T. S., & de Sousa Júnior, F. C. (2023). Microencapsulation of probiotics by oil-in-water emulsification technique improves cell viability under different storage conditions. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(2), 252. <https://doi.org/10.3390/foods12020252>
- Davidov-Pardo, G., Roccia, P., Salgado, D., Leon, A. E., & Pedroza-Is, R. (2008). Utilization of different wall materials to microencapsulate fish oil evaluation of its behavior in bread products. *American journal of food technology*, 3(6), 384–393. <https://doi.org/10.3923/ajft.2008.384.393>
- Deus, C., Eduardo de Souza Brener, C., Marques da Silva, T., Somacal, S., Queiroz Zepka, L.,

- Jacob Lopes, E., de Bona da Silva, C., Teixeira Barcia, M., Lozano Sánchez, J., & Ragagnin de Menezes, C. (2023). Co-encapsulation of *Lactobacillus plantarum* and bioactive compounds extracted from red beet stem (*Beta vulgaris* L.) by spray dryer. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 167(112607), 112607. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112607>
- Dong, J., He, Y., Zhang, J., & Wu, Z. (2022). Tuning alginate-bentonite microcapsule size and structure for the regulated release of *P. putida* Rs-198. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 48, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2021.03.056>
- Du, Qiwei; ZHOU, Linhui; LI, Minghui; LYU, Fei; LIU, Jianhua; DING, Yuting. Omega-3 polyunsaturated fatty acid encapsulation system: Physical and oxidative stability, and medical applications. *Food frontiers*, v. 3, n. 2, p. 239–255, 2022. DOI 10.1002/fft2.134. <http://dx.doi.org/10.1002/fft2.134>.
- Etchepare, M. de A., Raddatz, G. C., Cichoski, A. J., Flores, É. M. M., Barin, J. S., Queiroz Zepka, L., Jacob-Lopes, E., Grosso, C. R. F., & de Menezes, C. R. (2016a). Effect of resistant starch (Hi-maize) on the survival of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated with sodium alginate. *Journal of Functional Foods*, 21, 321–329. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.025>
- FAO/OMS. (2002). *Report of a Joint FAO/WHO Working Group on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food*. Canada.
- Gañan, N., Bordón, M. G., Ribotta, P. D., & González, A. (2020). Study of chia oil microencapsulation in soy protein microparticles using supercritical CO₂-assisted impregnation. *Journal of CO₂ Utilization*, 40(101221), 101221. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101221>
- Ghafoor, K., Ahmed, I. A. M., Özcan, M. M., Al-Juhaimi, F. Y., Babiker, E. E., & Azmi, I. U. (2020). An evaluation of bioactive compounds, fatty acid composition and oil quality of

- chia (*Salvia hispanica* L.) seed roasted at different temperatures. *Food Chemistry*, 333(127531), 127531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127531>
- González, A., Martínez, M. L., Paredes, A. J., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2016). Study of the preparation process and variation of wall components in chia (*Salvia hispanica* L.) oil microencapsulation. *Powder Technology*, 301, 868–875. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.07.026>.
- Gutiérrez, S., Svahn, S. L., & Johansson, M. E. (2019). Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20), 5028. <https://doi.org/10.3390/ijms20205028>
- Hansen, L. T., Allan-Wojtas, P. M., Jin, Y.-L., & Paulson, A. T. (2002). Survival of Ca-alginate microencapsulated *Bifidobacterium* spp. in milk and simulated gastrointestinal conditions. *Food Microbiology*, 19(1), 35–45. <https://doi.org/10.1006/fmic.2001.0452>
- Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2009). Microencapsulation of probiotic cells by means of rennet-gelation of milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1670–1677. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.006>
- Hosseini, S. F., Zandi, M., Rezaei, M., & Farahmandghavi, F. (2013). Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and in vitro release study. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.031>
- Imran, M., Nadeem, M., Manzoor, M. F., Javed, A., Ali, Z., Akhtar, M. N., Ali, M., & Hussain, Y. (2016). Fatty acids characterization, oxidative perspectives and consumer acceptability of oil extracted from pre-treated chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Lipids in Health and Disease*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0329-x>
- Kazemi, M., Shahidi, F., Javad Varidi, M., & Roshanak, S. (2022). Encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* in solid lipid microparticles via cryomilling. *Food*

Chemistry, 395(133564), 133564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133564>

Kheto, A., Bist, Y., Awana, A., Kaur, S., Kumar, Y., & Sehrawat, R. (2023). Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*, 3(100443), 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>

Kurtmann, L., Carlsen, C. U., Risbo, J., & Skibsted, L. H. (2009). Storage stability of freeze-dried *Lactobacillus acidophilus* (La-5) in relation to water activity and presence of oxygen and ascorbate. *Cryobiology*, 58(2), 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2008.12.001>

Lee, K.-Y., & Heo, T.-R. (2000). Survival of *Bifidobacterium longum* immobilized in calcium alginate beads in simulated gastric juices and bile salt solution. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(2), 869–873. <https://doi.org/10.1128/aem.66.2.869-873.2000>

Lewandowski, A., Czyżewski, M., & Zbiciński, I. (2012). Morphology and microencapsulation efficiency of foamed spray-dried sunflower oil. *Chemical and Process Engineering*, 33(1). <https://doi.org/10.2478/v10176-012-0009-y>

Liserre, A. M., Ré, M. I., & Franco, B. D. G. M. (2007). Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* in modified alginate-chitosan beads and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions. *Food Biotechnology*, 21(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/08905430701191064>

Liu, H., Gong, J., Chabot, D., Miller, S. S., Cui, S. W., Ma, J., Zhong, F., & Wang, Q. (2015). Protection of heat-sensitive probiotic bacteria during spray-drying by sodium caseinate stabilized fat particles. *Food Hydrocolloids*, 51, 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.015>

Longobardi, F., Contillo, F., Catucci, L., Tommasi, L., Caponio, F., & Paradiso, V. M. (2021).

- Analysis of peroxide value in olive oils with an easy and green method. *Food Control*, 130(108295), 108295. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108295>
- Madureira, A. R., Amorim, M., Gomes, A. M., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2011). Protective effect of whey cheese matrix on probiotic strains exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 44(1), 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.010>
- Mahmoud, M., Abdallah, N. A., El-Shafei, K., Tawfik, N. F., & El-Sayed, H. S. (2020). Survivability of alginate-microencapsulated *Lactobacillus plantarum* during storage, simulated food processing and gastrointestinal conditions. *Heliyon*, 6(3), e03541. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03541>
- Marques da Silva, T., Jacob Lopes, E., Codevilla, C. F., Cichoski, A. J., Flores, É. M. de M., Motta, M. H., da Silva, C. de B., Grosso, C. R. F., & de Menezes, C. R. (2018). Development and characterization of microcapsules containing Bifidobacterium Bb-12 produced by complex coacervation followed by freeze drying. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 90, 412–417. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.057>
- Martin, M. J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M. A., & Morales, M. E. (2013). Effect of unmodified starch on viability of alginate-encapsulated *Lactobacillus fermentum* CECT5716. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 53(2), 480–486. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.019>
- Martínez, M. L., Curti, M. I., Rocchia, P., Llabot, J. M., Penci, M. C., Bodoira, R. M., & Ribotta, P. D. (2015). Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. *Powder Technology*, 270, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>

- Martirosyan, D. M., & Singh, J. (2015). A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique? *Functional Foods in Health and Disease*, 5(6), 209. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v5i6.183>.
- Mohammadalinejhad, S., Almonaitytė, A., Jensen, I.-J., Kurek, M., & Lerfall, J. (2023). Alginate microbeads incorporated with anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) using electrostatic extrusion: Microencapsulation optimization, characterization, and stability studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246(125684), 125684. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125684>
- Mu, H., Song, Z., Wang, X., Wang, D., Zheng, X., & Li, X. (2022). Microencapsulation of algae oil by complex coacervation of chitosan and modified starch: Characterization and oxidative stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 194, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.168>
- Oteri, M., Bartolomeo, G., Rigano, F., Aspromonte, J., Trovato, E., Purcaro, G., Dugo, P., Mondello, L., & Beccaria, M. (2022). Comprehensive chemical characterization of Chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil with a focus on minor lipid components. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.3390/foods12010023>
- Paula, D. de A., Martins, E. M. F., Costa, N. de A., de Oliveira, P. M., de Oliveira, E. B., & Ramos, A. M. (2019). Use of gelatin and gum arabic for microencapsulation of probiotic cells from *Lactobacillus plantarum* by a dual process combining double emulsification followed by complex coacervation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 722–731. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.110>
- Poletto, G., Raddatz, G. C., Cichoski, A. J., Zepka, L. Q., Lopes, E. J., Barin, J. S., Wagner, R., & de Menezes, C. R. (2019). Study of viability and storage stability of *Lactobacillus acidophilus* when encapsulated with the prebiotics rice bran, inulin and Hi-maize. *Food Hydrocolloids*, 95, 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.049>

- Raddatz, G. C., de Souza da Fonseca, B., Poletto, G., Jacob-Lopes, E., Cichoski, A. J., Muller, E. I., Flores, E. M. M., de Bona da Silva, C., & Ragagnin de Menezes, C. (2020). Influence of the prebiotics hi-maize, inulin and rice bran on the viability of pectin microparticles containing *Lactobacillus acidophilus* LA-5 obtained by internal gelation/emulsification. *Powder Technology*, 362, 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.114>
- Raddatz, G. C, et al. Viability and stability evaluation of *Lactobacillus casei* LC03 co-encapsulated with red onion (*Allium cepa* L.) peel extract. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 153(112434), 112434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112434>
- Razavi, S., Janfaza, S., Tasnim, N., Gibson, D. L., & Hoorfar, M. (2021). Microencapsulating polymers for probiotics delivery systems: Preparation, characterization, and applications. *Food Hydrocolloids*, 120(106882), 106882. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106882>
- Rodríguez, M. E., Rikal, L., Schneider-Teixeira, A., Deladino, L., & Ixtaina, V. (2023). Extraction method impact on the physicochemical characteristics of lipids from chia nutlets applicable to long-term storage studies. *Food Chemistry*, 427(136706), 136706. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136706>
- Romano, R., Filosa, G., Pizzolongo, F., Durazzo, A., Lucarini, M., Severino, P., Souto, E. B., & Santini, A. (2021). Oxidative stability of high oleic sunflower oil during deep-frying process of purple potato Purple Majesty. *Heliyon*, 7(3), e06294. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06294>
- Samedi, L., & Charles, A. L. (2019). Viability of 4 probiotic bacteria microencapsulated with arrowroot starch in the simulated gastrointestinal tract (GIT) and yoghurt. *Foods (Basel, Switzerland)*, 8(5), 175. <https://doi.org/10.3390/foods8050175>

- Sathyabama, S., Ranjith kumar, M., Bruntha devi, P., Vijayabharathi, R., & Brindha priyadharisini, V. (2014). Co-encapsulation of probiotics with prebiotics on alginate matrix and its effect on viability in simulated gastric environment. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 57(1), 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.024>
- Sekhvatizadeh, S. S., Afrasiabi, F., & Montaseri, Z. (2023). Encapsulation of probiotic *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 in alginate–galbanum (*Ferula Gummosa* Boiss) gum microspheres and evaluation of the survival in simulated gastrointestinal conditions in probiotic Tahini halva. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(3), 1589–1601. <https://doi.org/10.1007/s42770-023-01074-3>
- Shahmoradi, Z., Alizadeh Khaledabad, M., & Amiri, S. (2023). Effect of co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* LA5 and selenium in hydrogelated matrix of basil seed mucilage/sodium caseinate on properties of set yogurt. *Food Bioscience*, 55(103039), 103039. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103039>
- Shantha, N. C., & Decker, E. A. (1994). Rapid, sensitive, iron-based spectrophotometric methods for determination of peroxide values of food lipids. *Journal of AOAC International*, 77(2), 421–424. <https://doi.org/10.1093/jaoac/77.2.421>
- Sheu, T.-Y., Marshall, R. T., & Heymann, H. (1993). Improving survival of culture bacteria in frozen desserts by microentrapment. *Journal of Dairy Science*, 76(7), 1902–1907. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(93\)77523-2](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(93)77523-2)
- Somacal, S., Somacal, S., Pinto, V. S., de Deus, C., Vendruscolo, R. G., de Almeida, T. M., Wager, R., Mazutti, M. A., & de Menezes, C. R. (2022). Strategy to increase the lipid stability of the microbial oil produced by *Umbelopsis isabellina* for food purposes: Use of microencapsulation by external ionic gelation. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 152(110907), 110907. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110907>

- Souza, F. N., Gebara, C., Ribeiro, M. C. E., Chaves, K. S., Gigante, M. L., & Grosso, C. R. F. (2012). Production and characterization of microparticles containing pectin and whey proteins. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 49(1), 560–566. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.041>
- Soyer, A., Özalp, B., Dalmış, Ü., & Bilgin, V. (2010). Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food Chemistry*, 120(4), 1025–1030. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.042>
- Us-Medina, U., Julio, L. M., Segura-Campos, M. R., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2018). Development and characterization of spray-dried chia oil microcapsules using by-products from chia as wall material. *Powder Technology*, 334, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.04.060>
- Visentainer, J. V. (2012). Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. *Química nova*, 35(2), 274–279. <https://doi.org/10.1590/s0100-4042201200020000>
- Wang, M., Yang, J., Li, M., Wang, Y., Wu, H., Xiong, L., & Sun, Q. (2019). Enhanced viability of layer-by-layer encapsulated *Lactiplantibacillus pentosus* using chitosan and sodium phytate. *Food Chemistry*, 285, 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.162>
- Yoha, K. S., Nida, S., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Targeted delivery of probiotics: Perspectives on research and commercialization. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 14(1), 15–48. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09791->
- Zhang, Z., Peng, X., Zhang, N., Liu, L., Wang, Y., & Ou, S. (2014). Cytotoxicity comparison of quercetin and its metabolites from in vitro fermentation of several gut bacteria. *Food & Function*, 5(9), 2152. <https://doi.org/10.1039/c4fo00418>

3 CONCLUSÃO GERAL

A microencapsulação de *Lactobacillus acidophilus* juntamente com as diferentes concentrações de óleo, mostrou-se viável para a proteção das substâncias encapsuladas. As micropartículas com óleo obtiveram os tamanhos de partícula pouco superior à literatura, porém, não é possível afirmar que interfira na aplicação em alimentos. Além disso, obtiveram boa eficiência, sendo o valor similar ao encontrado na literatura. Já em relação ao óleo a eficiência se mostrou superior aos resultados que são encontrados na literatura. Durante o armazenamento nas diferentes condições de temperaturas, foi assegurado como promissora para viabilidade do *Lactobacillus acidophilus* a temperatura a 25°C, pois manteve alta viabilidade dos probióticos seguido por 7°C. Em relação a viabilidade do óleo perante o armazenamento nas diferentes temperaturas, a -18°C manteve a atividade oxidativa reduzida, seguida pela temperatura de 7°C. Os tratamentos ao serem expostos em temperaturas que simulam pasteurização rápida e lenta apresentaram resultados promissores, principalmente os tratamentos co-encapsulados, onde nas duas situações mantiveram a viabilidade dos probióticos. As micropartículas co-encapsuladas apresentaram ótimos resultados à passagem ao sistema gastrointestinal simulado, onde, durante o teste foi observado que a micropartícula foi resistente às variações do meio, chegando ao final do teste com alta viabilidade probiótica como o desejado. Em relação ao perfil lipídico foi constatado a presença predominante de cinco ácidos graxos, sendo eles o ácido palmítico (16:0), ácido esteárico (18:0), ácido oleico (18:1 n-9), ácido linoleico (18:2 n-6), α -ácido linolênico (18:3 n-3), formando aproximadamente 98% de todos os ácidos graxos encontrados e ao serem submetidas as condições de armazenamento, não houve alterações no comportamento lipídico. Portanto, por meio dos resultados obtidos no presente estudo, a melhor temperatura de armazenamento é a 7°C, pois atingiu resultados favoráveis para viabilizar ambas substâncias, e ademais, o *Lactobacillus acidophilus* provou ser viável nos testes submetidos, corroborando à capacidade da micropartícula de proteção, e o

óleo em diversos momentos foi um diferencial para a qualidade do comportamento microbiológico nos testes realizados. Além disso, entre os tratamentos avaliados, o tratamento T5 (com 20% de óleo) não obteve a maior eficiência de encapsulação do óleo, contudo, nas análises se destacou aos demais, apresentando superioridade, sendo um ponto positivo a ser estudado futuramente.

4 REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. **Microflora intestinal: uma barreira imunológica desconhecida**. Dissertação (Mestrado Integrado em Medicina) - Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar na Universidade do Porto, Porto, 2009/2010. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/52784/2/Microflora%20intestinal%20%20uma%20barreira%20imunologica%20deconhecida.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2023.

ANJUM, Nazia *et al.*, *Lactobacillus acidophilus*: Characterization of the Species and Application in Food Production. **Critical reviews in food science and nutrition**, vol. 54, no. 9, p. 1241–1251, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2011.621169>. Acesso em: 17 junho 2023. DOI: 10.1080/10408398.2011.621169.

ANTUNES, A. E. C. *et al.* Desenvolvimento de buttermilk probiótico. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n.1, p. 83-90, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v27n1/14>> Acesso em: 12 de setembro de 2023.

BAKER, Mathew T.; LU, Peng; PARRELLA, Jean A.; LEGGETTE, Holli R. Consumer acceptance toward functional foods: A scoping review. **International journal of environmental research and public health**, vol. 19, no. 3, p. 1217, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19031217> Acesso em: 12 de agosto de 2023. DOI: 10.3390/ijerph19031217.

BAKRY, Amr M.; ABBAS, Shabbar; ALI, Barkat; MAJEED, Hamid; ABOUELWAF, Mohamed Y.; MOUSA, Ahmed; LIANG, Li. Microencapsulação de óleos: uma revisão abrangente de benefícios, técnicas e aplicações. **Revisões abrangentes em ciência alimentar e segurança alimentar**, vol. 15, não. 1, pág. 143–182, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12179>. Acesso em: 12 de agosto de 2023. DOI: 10.3390/ijerph19031217. DOI 10.1111/1541-4337.12179.

BIELECKA, Marika; ZIAJKA, Justyna; STANIEWSKI, Bogusław; AGORA, Hanna. Estabilidade oxidativa e índices relacionados à saúde de misturas de gordura anidra do leite e óleos vegetais. **Revista internacional de laticínios**, vol. 137, não. 105529, pág. 105529, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105529>. Acesso em: 15 de junho de 2023. DOI: 10.1016/j.idairyj.2022.105529.

BLONDEAU, Nicolas; LIPSKY, Robert H.; BOUROUROU, Miled; DUNCAN, Mark W.; GORELICK, Philip B.; MARINI, Ann M. Alpha-linolenic acid: An omega-3 fatty acid with neuroprotective properties—ready for use in the stroke clinic? **BioMed research international**, v. 2015, p. 1–8, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/519830>. Acesso em: 5 de novembro de 2023. DOI: 10.1155/2015/519830.

BOURRE, Jean-Marie; DUMONT, Odile; PICIOTTI, Michale; CLAMENT, Michel; CHAUDIARE, Jean; BONNEIL, Michelle; NALBONE, Gilles; LAFONT, Huguette; PASCAL, Garard; DURAND, Georges. Essentiality of ω 3 fatty acids for brain structure and Function1. **World Review of Nutrition and Dietetics**. [S. l.]: S. Karger AG, 2015. p. 103–117. Acesso em: 5 de novembro de 2023. DOI: 10.1159/000419283.

BUDIN, Ana Carolina; TAKANO, Leonardo Vinícius; ALVIM, Isabela D.; DE MOURA, Sílvia CSR Estabilidade do extrato de erva-mate, avaliação de sua microencapsulação por

gelificação iônica e secagem em leito fluidizado. **Heliyon**, vol. 9, não. 6, pág. e16611, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16611>. Acesso em: 25 de junho de 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16611.

CALDER, Philip C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. **Biochemical Society transactions**, v. 45, n. 5, p. 1105–1115, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1042/bst20160474>. Acesso em: 10 de junho de 2023. DOI:10.1042/bst20160474.

CAPITANI, M. I.; SPOTORNO, V.; NOLASCO, S. M.; TOMÁS, M. C. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, vol. 45, no. 1, p. 94–102, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.07.012>. Acesso em: 10 de junho de 2023. DOI 10.1016/j.lwt.2011.07.012.

CARDOSO, Teresa; GONÇALVES, Antónia; ESTEVINHO, Berta N.; ROCHA, Fernando. Potential food application of resveratrol microparticles: Characterization and controlled release studies. **Powder technology**, vol. 355, p. 593–601, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07079>. Acesso em: 11 de julho de 2023. DOI 10.1016/j.powtec.2019.07.079.

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

COSTA, Beatriz Lopes da; SILVA NETO, Pedro Abreu da; OLIVEIRA, Magnólia Carneiro de; CHAVES, Maria Juciene Lima; BRAGA, Renata Chastinet; FARIAS, Virna Luiza de. Eficiência da técnica de electrospraying na encapsulação de compostos lipídicos aplicados a alimentos: uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**, vol. 10, no. 17, p. e128101724420, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24420>. Acesso em: 10 de setembro de 2023. DOI 10.33448/rsd-v10i17.24420.

DE LIMA, Tainara Luisa; WESCHENFELDER, Simone. Benefícios dos probióticos para a microbiota intestinal e sua adição em derivados lácteos e suplementos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, vol. 74, no. 1, p. 51–59, 2019. DOI 10.14295/2238-6416.v74i1.712. Available at: <http://dx.doi.org/10.14295/2238-6416.v74i1.712>.

EJTAHED, H. S, et al. Effect of probiotic yogurt containing *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* on lipid profile in individuals with type 2 diabetes mellitus. **Journal of dairy science**, vol. 94, no. 7, p. 3288–3294, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-4128>. Acesso em: 18 de junho de 2023. DOI: 10.3168/jds.2010-4128.

ETCHEPARE, Mariana de Araújo; RADDATZ, Greice Carine; CICHOSKI, Alexandre José; FLORES, Érico Marlon Moraes; BARIN, Juliano Smanioto; QUEIROZ ZEPKA, Leila; JACOB-LOPES, Eduardo; GROSSO, Carlos Raimundo Ferreira; DE MENEZES, Cristiano Ragagnin. Effect of resistant starch (Hi-maize) on the survival of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated with sodium alginate. **Journal of functional foods**, vol. 21, p. 321–329, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.025>. Acesso em: 10 de agosto de 2023. DOI: 10.1016/j.jff.2015.12.025.

FAO/OMS Relatório conjunto do grupo de trabalho FAO/OMS (Organização para a Alimentação e Agricultura/Organização Mundial da Saúde) sobre a elaboração de diretrizes para a avaliação de probióticos em alimentos (2002). (Londres, Ontário).

FÁVARO-TRINDADE, Carmen Silvia e PINHO, Samantha Cristina de e ROCHA, Gláucia Aguiar. **Revisão: microencapsulação de ingredientes alimentícios**. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 11, n. abr./ju 2008, p. 103-112, 2008. Disponível em: <http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/bjft/2008/v11n24407.pdf>. Acesso em: 22 janeiro. 2024.

FUNDUEANU, Gheorghe; NASTRUZZI, Claudio; CARPOV, Adrian; DESBRIERES, Jacques; RINAUDO, Marguerite. Physico-chemical characterization of Ca-alginate microparticles produced with different methods. *Biomaterials*, vol. 20, no. 15, p. 1427–1435, 1999. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0142-9612\(99\)00050-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0142-9612(99)00050-2). Acesso em: 12 setembro. 2023. DOI 10.1016/s0142-9612(99)00050-2.

GALDEANO, Carolina; CAZORLA, Silvia Inés; LEMME DUMIT, José María; VÉLEZ, Eva; PERDIGÓN, Gabriela. Beneficial effects of probiotic consumption on the immune system. *Annals of nutrition & metabolism*, v. 74, n. 2, p. 115–124, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1159/000496426>. Acesso em: 12 de agosto de 2023. DOI: 10.1159/000496426.

GAÑAN, Nicolas; BORDÓN, María Gabriela; RIBOTTA, Pablo D.; GONZÁLEZ, Agustín. Study of chia oil microencapsulation in soy protein microparticles using supercritical CO₂-assisted impregnation. *Journal of CO₂ utilization*, vol. 40, no. 101221, p. 101221, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101221>. Acesso em: 17 de agosto de 2023. DOI 10.1016/j.jcou.2020.101221.

GANESAN, K.; SUKALINGAM, K.; XU, B. Impact of consumption and cooking manners of vegetable oils on cardiovascular diseases- A critical review. *Trends in food science & technology*, v. 71, p. 132–154, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.003>. Acesso em: janeiro, 10, 2024. doi: 10.1016/j.tifs.2017.11.003.

GHAFOOR, Kashif; AHMED, Isam A. Mohamed; ÖZCAN, Mehmet Musa; AL-JUHAIMI, Fahad Y.; BABIKER, Elfadil E.; AZMI, Ichsan Ulil. Avaliação de compostos bioativos, composição de ácidos graxos e qualidade do óleo de sementes de chia (*Salvia hispanica L.*) torradas em diferentes temperaturas. *Química Alimentar*, vol. 333, não. 127531, pág. 127531, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127531>. Acesso em: 15 de agosto de 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127531.

GU, Qingzhuo; YIN, Yan; YAN, Xiaojia; LIU, Xuebo; LIU, Fuguo; MCCLEMENTS, David Julian. Encapsulation of multiple probiotics, synbiotics, or nutrabiobiotics for improved health effects: A review. *Advances in colloid and interface science*, vol. 309, no. 102781, p. 102781, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2022.102781>. Acesso em: 18 de agosto de 2023. DOI: 10.1016/j.cis.2022.102781.

GUARNER, F. Diretrizes Globais da WGO Probióticos e prebióticos (pp. 1-35). Milwaukee:

Organização Mundial de Gastroenterologia. 2017.

GUTIÉRREZ, Saray; SVAHN, Sara L.; JOHANSSON, Maria E. Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 20, p. 5028, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijms20205028>. Acesso em: 10 de junho de 2023. DOI 10.3390/ijms20205028.

HECK, Rosane Teresinha. et al. Is it possible to produce a low-fat burger with a healthy n-6/n-3 PUFA ratio without affecting the technological and sensory properties? **Meat science**, vol. 130, p. 16–25, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.03.010>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024. DOI:10.1016/j.meatsci.2017.03.010.

HERNANDEZ, Rocío I.; ÁLVAREZ-PARRILLA, Emilio; LIZARDI-MENDOZA, Jaime; ISLAS-RUBIO, Alma R.; DE LA ROSA, Laura A.; WALL-MEDRANO, Abraham. Structural stability and viability of microencapsulated probiotic bacteria: A review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, vol. 12, no. 6, p. 614–628, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12030>. Acesso em: 10 de outubro de 2023. DOI 10.1111/1541-4337.12030.

HU, Frank B.; STAMPFER, Meir J.; MANSON, Joann E.; RIMM, Eric B.; WOLK, Alicja; COLDITZ, Graham A.; HENNEKENS, Charles H.; WILLETT, Walter C. Dietary intake of α -linolenic acid and risk of fatal ischemic heart disease among women. **The American journal of clinical nutrition**, v. 69, n. 5, p. 890–897, 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/69.5.890>. Acesso em: 05 de novembro de 2023. DOI: 10.1093/ajcn/69.5.890.

IBRAHEM, A. A.; AL-SHAWI, S. G.; AL-TEMIMI, W. K. A. The antagonistic activity of the synbiotic containing *Lactobacillus acidophilus* and pineapple residue FOS against pathogenic bacteria. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 84, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.258277>. Acesso em: 25 de agosto de 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.258277.

IKEDA, A.; TAKEMURA, A.; ONO, H. Preparation of low-molecular weight alginic acid by acid hydrolysis. **Carbohydrate polymers**, vol. 42, no. 4, p. 421–425, 2000. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0144-8617\(99\)00183-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0144-8617(99)00183-6). Acesso em: 30 de agosto de 2023. DOI 10.1016/s0144-8617(99)00183-6.

IXTAINA, Vanesa Y.; NOLASCO, Susana M.; TOMÁS, Mabel C. Oxidative stability of Chia (*Salvia hispanica* L.) seed oil: Effect of antioxidants and storage conditions. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, vol. 89, no. 6, p. 1077–1090, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-011-1990-x>. Acesso em: 18 de agosto de 2023. DOI 10.1007/s11746-011-1990-x.

JIA, Baolei; ZOU, Yuanqiang; HAN, Xiao; BAE, Jin-Woo; JEON, Che Ok. Gut microbiome-mediated mechanisms for reducing cholesterol levels: implications for ameliorating cardiovascular disease. **Trends in microbiology**, v. 31, n. 1, p. 76–91, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tim.2022.08.003> Acesso em: 12 de agosto de 2023. DOI: 10.1016/j.tim.2022.08.003.

KARAGEORGOU, Dimitra; ROVA, Ulrica; CHRISTAKOPOULOS, Paul; KATAPODIS,

Petros; MATSAKAS, Leônidas; PATEL, Alok. Benefícios da suplementação com ácidos graxos ômega-3 microbianos para a saúde humana e o cenário atual do mercado para ácidos graxos ômega-3 isentos de peixe. **Tendências em ciência e tecnologia de alimentos**, vol. 136, pág. 169–180, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2023.04.018>. Acesso em: 25 de agosto de 2023. DOI 10.1016/j.tifs.2023.04.018.

KRASAEKOOPT, Wunwisa; BHANDARI, Bhesh; DEETH, Hilton. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International dairy journal**, vol. 13, no. 1, p. 3–13, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946\(02\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-6946(02)00155-3). Acesso em: 23 de setembro de 2023. DOI 10.1016/s0958-6946(02)00155-3.

KRASAEKOOPT, Wunwisa; BHANDARI, Bhesh; DEETH, Hilton. The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. **International dairy journal**, vol. 14, no. 8, p. 737–743, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.01.004>. Acesso em: 23 de setembro de 2023. DOI 10.1016/j.idairyj.2004.01.004.

KWON, So Yeon; MASSEY, Karen; WATSON, Mark A.; HUSSAIN, Tayab; VOLPE, Giacomo; BUCKLEY, Christopher D.; NICOLAOU, Anna; BADENHORST, Paul. Oxidised metabolites of the omega-6 fatty acid linoleic acid activate dFOXO. **Life science alliance**, vol. 3, no. 2, p. e201900356, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26508/lsa.201900356>. Acesso em: 10 de outubro de 2023. DOI 10.26508/lsa.201900356.

LEE, Ki-Yong; HEO, Tae-Ryeon. Survival of *Bifidobacterium longum* immobilized in calcium alginate beads in simulated gastric juices and bile salt solution. **Applied and environmental microbiology**, v. 66, n. 2, p. 869–873, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.66.2.869-873.2000>. Acesso em: 17 setembro 2023. DOI: 10.1128/AEM.66.2.869-873.2000.

LISERRE, Alcina Maria; RÉ, Maria Ines; FRANCO, Bernadette D. G. M. Microencapsulation of *Bifidobacterium animalissubsp.lactis* modified alginate-chitosan beads and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions. **Food biotechnology**, vol. 21, no. 1, p. 1–16, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/08905430701191064>. Acesso em: 10 julho 2023. DOI: 10.1080/08905430701191064.

LIU, Yuying; TRAN, Dat Q.; RHOADS, J. Marc. Probiotics in disease prevention and treatment. **Journal of clinical pharmacology**, vol. 58, no. S10, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/jcph.1121>. Acesso em: 10 outubro 2023. DOI 10.1002/jcph.1121.

LULWAH, Y. Al Furaih; IBTISAM, M. Ababutain; AZZAT, B. Abd El Khalek; AHMED, M. Abdel Salam. Effect of different microencapsulation materials on stability of *Lactobacillus plantarum* DSM 20174. **African journal of biotechnology**, v. 15, n. 24, p. 1207–1216, 2016.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5897/ajb2016.15215>. Acesso em: 10 janeiro 2024. DOI: 10.5897/ajb2016.15215

MARKOWIAK, Paulina; ŚLIŻEWSKA, Katarzyna. Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. **Nutrients**, vol. 9, no. 9, p. 1021, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/nu9091021>. Acesso em: 10 outubro 2023. DOI 10.3390/nu9091021.

MARTIN, M. J.; LARA-VILLOSLADA, F.; RUIZ, M. A.; MORALES, M. E. Effect of

unmodified starch on viability of alginate-encapsulated *Lactobacillus fermentum* CECT5716. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, v. 53, n. 2, p. 480–486, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.019>. Acesso em: 12 junho 2023. DOI 10.1016/j.lwt.2013.03.019.

MARTÍNEZ, M. L.; CURTI, M. I.; ROCCIA, P.; LLABOT, J. M.; PENCI, M. C.; BODOIRA, R. M.; RIBOTTA, P. D. Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. **Powder technology**, vol. 270, p. 271–277, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>. Acesso em: 18 julho 2023. DOI 10.1016/j.powtec.2014.10.031.

MENEZES, Cristiano Ragagnin de; BARIN, Juliano Smaniotto; CHICOSKI, Alexandre José; ZEPKA, Leila Queiroz; JACOB-LOPES, Eduardo; FRIES, Leadir Lucy Martins; TERRA, Nelcindo Nascimento. Microencapsulação de probióticos: avanços e perspectivas. **Ciencia rural**, vol. 43, no. 7, p. 1309–1316, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013005000084>. Acesso em: 29 junho 2023. DOI 10.1590/s0103-84782013005000084.

MOON, Eun Chae; KANG, Yu-Ra; CHANG, Yoon Hyuk. Development of soy protein isolate/sodium carboxymethyl cellulose synbiotic microgels by double crosslinking with transglutaminase and aluminum chloride for delivery system of *Lactobacillus acidophilus*. **International journal of biological macromolecules**, vol. 237, no. 124122, p. 124122, 2023. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124122>. Acesso em: 17 junho 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124122.

PAPIZADEH, Moslem; ROHANI, Mahdi; NAHREVANIAN, Hossein; JAVADI, Abdolreza; POURSHAFIE, Mohammad Reza. Probiotic characters of Bifidobacterium and Lactobacillus are a result of the ongoing gene acquisition and genome minimization evolutionary trends. **Microbial pathogenesis**, vol. 111, p. 118–131, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2017.08.021>. Acesso em: 15 setembro 2023. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.08.021.

PETRESCU, Dacina Crina; VERMEIR, Iris; PETRESCU-MAG, Ruxandra Malina. Consumer understanding of food quality, healthiness, and environmental impact: A cross-national perspective. **International journal of environmental research and public health**, vol. 17, no. 1, p. 169, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17010169>. Acesso em: 12 agosto 2023. DOI: 10.3390/ijerph17010169.

RADDATZ, Greice Carine; MENEZES, Cristiano Ragagnin de. Microencapsulation and co-encapsulation of bioactive compounds for application in food: challenges and perspectives. **Ciencia rural**, vol. 51, no. 3, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20200616>. Acesso em: 17 agosto 2023. DOI 10.1590/0103-8478cr20200616.

RANADHEERA, Chaminda Senaka; NAUMOVSKI, Nenad; AJLOUNI, Said. Non-bovine milk products as emerging probiotic carriers: recent developments and innovations. **Current opinion in food science**, vol. 22, p. 109–114, 2018. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.010>. Acesso em: 10 janeiro 2024. DOI 10.1016/j.cofs.2018.02.010.

RASHIDINEJAD, Ali; BAHRAMI, Akbar; REHMAN, Abdur; REZAEI, Atefe;

BABAZADEH, Afshin; SINGH, Harjinder; JAFARI, Seid Mahdi. Co-encapsulation of probiotics with prebiotics and their application in functional/synbiotic dairy products. **Critical reviews in food science and nutrition**, vol. 62, no. 9, p. 2470–2494, 2022. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2020.1854169>. Acesso em: 18 setembro 2023. DOI 10.1080/10408398.2020.1854169.

RAZAVI, Seyedehamideh; JANFAZA, Sajjad; TASNIM, Nishat; GIBSON, Deanna L.; HOORFAR, Mina. Polímeros microencapsulantes para sistemas de entrega de probióticos: preparação, caracterização e aplicações. **Hidrocolóides alimentares**, vol. 120, não. 106882, pág. 106882, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106882>. Acesso em: 03 junho 2023. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.106882.

RIBEIRO, Maria Carolina de Oliveira; VANDENBERGHE, Luciana Porto de Souza; SPIER, Michele Rigon; PALUDO, Katia Sabrina; SOCCOL, Carlos Ricardo; SOCCOL, Vanete Thomaz. Evaluation of probiotic properties of *Pediococcus acidilactici* B14 in association with *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 for application in a soy based aerated symbiotic dessert. **Brazilian archives of biology and technology**, vol. 57, no. 5, p. 755–765, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-8913201402258>. Acesso em: 10 setembro 2023. DOI 10.1590/s1516-8913201402258.

ROOBAB, Ume; BATOOL, Zahra; MANZOOR, Muhammad Faisal; SHABBIR, Muhammad Asim; KHAN, Moazzam Rafiq; AADIL, Rana Muhammad. Sources, formulations, advanced delivery and health benefits of probiotics. **Current opinion in food science**, vol. 32, p. 17–28, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.003>. Acesso em: 06 outubro 2023. DOI 10.1016/j.cofs.2020.01.003.

RODRIGUES, *et al.* New glycemic metrics and traditional clinical and laboratory profiles of children and adolescents with type 1 diabetes mellitus in an outpatient follow-up. **Diabetes research and clinical practice**, v. 173, n. 108680, p. 108680, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108680>. Acesso em: 15 setembro 2023. DOI 10.1016/j.diabres.2021.108680.

ROLIM, Fernanda R. L.; FREITAS NETO, Oliveira C.; OLIVEIRA, Maria Elieidy G.; OLIVEIRA, Celso J. B.; QUEIROGA, Rita C. R. E. Cheeses as food matrixes for probiotics: In vitro and in vivo tests. **Trends in food science & technology**, vol. 100, p. 138–154, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.008>. Acesso em: 10 outubro 2023. DOI 10.1016/j.tifs.2020.04.008.

SALMINEN, Hanna; WEISS, Jochen. Electrostatic adsorption and stability of whey protein–pectin complexes on emulsion interfaces. **Food hydrocolloids**, vol. 35, p. 410–419, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.020>. Acesso em: 26 setembro 2023. DOI 10.1016/j.foodhyd.2013.06.020.

SANTOS, R.; VARAVALHO, M. A importância de probiótico para o controle e/ou reestruturação da microbiota intestinal. **Revista Científica do ITPAC**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 40–49, jan. 2011. Disponível em: <https://assets.itpac.br/arquivos/Revista/41/5.pdf>. Acesso em 20 de agosto de 2023.

SMRDEL, P.; BOGATAJ, M.; PODLOGAR, F.; PLANINŠEK, O.; ZAJC, N.; MAZAJ, M.; KAUČIČ, V.; MRHAR, A. Characterization of calcium alginate beads containing structurally

similar drugs. **Drug development and industrial pharmacy**, vol. 32, no. 5, p. 623–633, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/03639040600599863>. Acesso em: 28 setembro 2023. DOI 10.1080/03639040600599863.

SHI, Jialu; WANG, Youfa; CHENG, Lei; WANG, Jin; RAGHAVAN, Vijaya. Gut microbiome modulation by probiotics, prebiotics, synbiotics and postbiotics: a novel strategy in food allergy prevention and treatment. **Critical reviews in food science and nutrition**, p. 1–17, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2022.2160962>. Acesso em: 03 junho 2023. DOI 10.1080/10408398.2022.2160962.

SHORI, Amal Bakr. Microencapsulation improved probiotics survival during gastric transit. **Hayati : journal of biosciences**, vol. 24, no. 1, p. 1–5, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hjb.2016.12.008>. Acesso em: 10 agosto 2023 DOI 10.1016/j.hjb.2016.12.008.

SILVA, Pablo Teixeira da; FRIES, Leadir Lucy Martins; MENEZES, Cristiano Ragagnin de; HOLKEM, Augusto Tasch; SCHWAN, Carla Luisa; WIGMANN, Évelin Francine; BASTOS, Juliana de Oliveira; SILVA, Cristiane de Bona da. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência rural**, vol. 44, no. 7, p. 1304–1311, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130971>. Acesso em: 25 junho 2023. DOI :10.1590/0103-8478cr20130971.

SOMACAL, Simara; SOMACAL, Sabrina; PINTO, Vandr e Souza; DE DEUS, Cassandra; VENDRUSCOLO, Raquel Guidetti; DE ALMEIDA, Tielle Moraes; WAGER, Roger; MAZUTTI, Márcio Ant nio; DE MENEZES, Cristiano Ragagnin. Strategy to increase the lipid stability of the microbial oil produced by *Umbelopsis isabellina* for food purposes: Use of microencapsulation by external ionic gelation. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, vol. 152, no. 110907, p. 110907, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110907>. Acesso em: 10 janeiro 2024. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110907.

TARIFA, María Clara; PIQUERAS, Cristian Martín; GENOVESE, Diego Bautista; BRUGNONI, Lorena In s. Microencapsulation of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus rhamnosus* in pectin and pectin-inulin microgel particles: Effect on bacterial survival under storage conditions. **International journal of biological macromolecules**, vol. 179, p. 457–465, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.038>. Acesso em: 10 outubro 2023. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.038.

TEIXEIRA, V nea Ferreira Torres; PEREIRA, N dia Rosa; WALDMAN, Walter Ruggeri; ÁVILA, Ana Luiza Cassiano Dias; PÉREZ, Victor Haber; RODRÍGUEZ, Rubén Jesus Sánchez. Ion exchange kinetics of magnetic alginate ferrogel beads produced by external gelation. **Carbohydrate polymers**, vol. 111, p. 198–205, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.009>. Acesso em: 06 outubro 2023 DOI 10.1016/j.carbpol.2014.04.009.

THUEKEAW, Sureerat; ANGKANAPORN, Kris; CHIRACHANCHAI, Suwabun; NUENGJAMNONG, Chackrit. Dual pH responsive via double - layered microencapsulation for controlled release of active ingredients in simulated gastrointestinal tract: A model case of chitosan-alginate microcapsules containing basil oil (*Ocimum basilicum* Linn.). **Polymer degradation and stability**, vol. 191, no. 109660, p. 109660, 2021. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109660>. Acesso em: 02 setembro 2023. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2021.109660.

YANG, Huan; HE, Muwen; WU, Chongde. Cross protection of lactic acid bacteria during environmental stresses: Stress responses and underlying mechanisms. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]**, vol. 144, no. 111203, p. 111203, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111203>. Acesso em: 25 maio 2023. DOI 10.1016/j.lwt.2021.111203.

YAO, Ming Fei; XIE, Jiaojiao; DU, Hengjun; MCCLEMENTS, David Julian; XIAO, Pendure; LI, Lanjuán. Progresso na microencapsulação de probióticos: uma revisão. **Revisões abrangentes em ciência alimentar e segurança alimentar**, vol. 19, não. 2, pág. 857–874, 2020. DOI 10.1111/1541-4337.12532. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12532>. Acesso em: 25 setembro 2023

YEO, Y.; BAEK, N.; PARK, K. Microencapsulation methods for delivery of protein drugs. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 6, n. 4, p. 213-230, 2001.

YERRAMATHI, Babu Bhagath; MUNIRAJ, Beulah Annem; KOLA, Manjula; KONIDALA, Kranthi Kumar; ARTHALA, Praveen Kumar; SHARMA, Tata Sanjay Kanna. Alginate biopolymeric structures: Versatile carriers for bioactive compounds in functional foods and nutraceutical formulations: A review. **International journal of biological macromolecules**, no. 127067, p. 127067, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127067>. Acesso em: 30 agosto 2023. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127067.

ZHANG, Tao; ZHANG, Cunzheng; ZHANG, Jindong; SUN, Feng; DUAN, Liping. Efficacy of probiotics for irritable bowel syndrome: A systematic review and network meta-analysis. **Frontiers in cellular and infection microbiology**, vol. 12, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fcimb.2022.859967>. Acesso em: 10 setembro 2023. DOI 10.3389/fcimb.2022.859967.

ZHU, Guangsu; ZHAO, Jianxin; WANG, Gang; CHEN, Wei. *Bifidobacterium breve* HNX26M4 attenuates cognitive deficits and neuroinflammation by regulating the gut-brain axis in APP/PS1 mice. **Journal of agricultural and food chemistry**, vol. 71, no. 11, p. 4646–4655, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00652>. Acesso em: 07 setembro 2023. DOI 10.1021/acs.jafc.3c00652.

ZIA, M. A. *et al.* Physicochemical features, functional characteristics, and health benefits of cottonseed oil: a review. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 82, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.243511>. Acesso em: janeiro, 10, 2024. doi: 10.1590/1519-6984.243511.